Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete.

Erste Abhandlung.

Orientirende Versuche über den Einfluss der sogenannten chemischen Lichtintensität auf den Gestaltungsprocess der Pflanzenorgane

von

J. Wiesner,

w. M. k. Akad.

Vorbemerkungen.

Unter den für das Leben der Pflanzenwelt erforderlichen klimatischen Factoren: Wärme, Feuchtigkeit und Licht, steht in Bezug auf Bedeutung und Mannigfaltigkeit des Einflusses das Licht obenan.

Es sind behufs Feststellung der Beziehung des Lichtes zu den Vegetationsprocessen zahllose Fragen gestellt und manche mehr oder minder richtig gelöst worden. Es wird aber gewiss allseits zugestanden werden, dass unsere Kenntnisse über den Einfluss der Lichtintensität auf das Pflanzenleben höchst mangelhafte sind. Denn während messende Versuche über physiologische Beziehungen der Temperatur- und auch der Luftfeuchtigkeitsgrade in grosser Zahl vorliegen, und zu Ergebnissen führten, die den wichtigsten Erfahrungen auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie und Pflanzengeographie an die Seite gestellt werden können, liegen fast noch keine in das pflanzenphysiologische Gebiet einschlagende photometrische Untersuchungen vor.

Und doch prägt sich die Relation zwischen Lichtstärke und physiologischen Effecten in Tausenden von Thatsachen

des Pflanzenlebens aus, am anschaulichsten in dem Vegetationscharakter der Erdzonen.

Wenn von den wenigen, ganz vereinzelten, zu pflanzenphysiologischen Zwecken unternommenen Lichtmessungsversuchen, auf die ich alsbald zurückkomme, abgesehen wird, so ist es keine Übertreibung, wenn ich sage, dass die Art, wie heute die Lichtstärke in der Physiologie, Biologie und Geographie der Pflanzen charakterisirt wird, vielfach an die Zeiten gemahnt, in welchen man die Temperatur ohne Thermometer bestimmte und sich mit den Bezeichnungen kalt, warm, heiss u. dergl. begnügte.

Angesichts des in die Augen springenden Einflusses der Lichtintensität auf die verschiedenartigsten Vegetationsprocesse und der Mangelhaftigkeit unseres diesbezüglichen Wissens scheint es mir, als würde es im Bereiche der Pflanzenphysiologie nur wenige Aufgaben von so grosser Wichtigkeit geben, als die Feststellung dieser Beziehung auf Grund genauer photometrischer Prüfungen.

Meine Untersuchungen über den Einfluss der Lage auf die Gestalt der Pflanzenorgane [1] haben mir die Wichtigkeit von zu pflanzenphysiologischen Zwecken anzustellenden photometrischen Untersuchungen so eindringlich blossgelegt, dass ich mich entschlossen habe, meine schon vor längerer Zeit unternommenen, dem Studium des Heliotropismus dienenden Lichtmessungen wieder aufzunehmen und systematisch fortzusetzen.

Da den verschiedenen Bezirken des Spectrums, wie bekannt, eine sehr verschiedene physiologische Wirksamkeit zufällt, so hätte es, derzeit wenigstens, einen geringeren Werth, die gesammte Energie des Lichtes, welche einer Pflanze, oder im Laufe einer Vegetationsperiode einem bestimmten Vegetationsgebiete zufliesst, zu bestimmen, als die Intensität bestimmter Strahlengattungen zu ermitteln, die einen bestimmten physiologischen Effect ausüben.

---

[1] Diese Sitzungsberichte. Bd. 101 (1892) I. Abth. S. 657; ferner: Wiesner in den Berichten der Deutschen Bot. Ges. Bd. X (1892) Heft 8 und 10.

Damit soll aber nicht gesagt sein, dass die Resultate, welche mit Zuhilfenahme des Bolometers zu erzielen sind, für die Pflanzenphysiologie keine Bedeutung gewinnen könnten. Gerade für das Verständniss der Pflanzenverbreitung dürfte die obere Energiegrenze der Sonnenstrahlung an den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche in der Folge Bedeutung gewinnen.

Was aber vor Allem noththut, das ist die Kenntniss der Abhängigkeit der einzelnen Lebensacte der Pflanze von der Intensität des Lichtes überhaupt, und besonders von der Intensität jener Strahlengattungen, welchen erfahrungsgemäss im Leben der Pflanze eine bestimmte Function zufällt.

Bevor ich daran gehe, die Aufgaben zu bezeichnen, mit deren Lösung ich mich beschäftige und in der Folge zu beschäftigen gedenke, ganz speciell diejenigen, welche schon in dieser ersten Abhandlung erörtert werden sollen, will ich in Kürze den Stand der bisher von pflanzenphysiologischer Seite unternommenen Lichtmessungen vorführen.

Diese Messungen beziehen sich — soweit es sich nicht um rohe Schätzungen der Lichtstärke, sondern um auf Genauigkeit Anspruch erhebende zahlenmässige Bestimmungen handelt — bloss auf den Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Heliotropismus, ferner auf den Zusammenhang zwischen Lichtstärke und Kohlensäureassimilation.

Was den ersten Punkt anbelangt, so ist es mir gelungen, den Grad der heliotropischen Empfindlichkeit bestimmter Pflanzen zahlenmässig festzustellen[1] und die Beziehung zwischen den heliotropischen Effecten und der Intensität des Lichtes auf ein einfaches, allgemeines Gesetz zurückzuführen, welches lautet: Mit sinkender Lichtintensität nimmt, von einem für jede Pflanze bestimmten Nullpunkte an, der heliotropische Effect continuirlich bis zu einem bestimmten Lichtgrade zu, um von hier continuirlich abzunehmen und einen zweiten Nullpunkt zu erreichen, welcher die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit bezeichnet.

Die photometrischen Bestimmungen der heliotropischen Empfindlichkeit wurden später in meinem Laboratorium von

[1] Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen. (Denkschr. der kais. Akad. der Wissensch. Bd. 39.) I. Theil (1878) S. 173—188.

W. Figdor[1] fortgesetzt. Es wurde gefunden, dass im Grossen und Ganzen die Lichtempfindlichkeit der ausgebildeten Pflanze schon im Keimungsstadium sich ausprägt, die Keimlinge der Sonnenpflanzen eine geringere heliotropische Empfindlichkeit aufwiesen als die der Schattenpflanzen und dass die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit bei lichtempfindlichen Keimlingen (Hypocotylen, bezw. Epicotylen) unterhalb des Werthes 0·0003 Normalkerzen gelegen ist.

In Betreff der photomechanischen Lebensprocesse der Pflanze liegen keine weiteren genaueren Lichtmessungen vor. Was die photochemischen Lebensprocesse der Pflanze anlangt, so ist nur eine einzige Arbeit zu erörtern, nämlich die Untersuchungen, welche Wolkoff[2] ausführte, um die »Gasausscheidungen« gewisser Pflanzen im Lichte verschiedener Intensität kennen zu lernen und damit der Lösung der wichtigen Frage über den Einfluss der Lichtstärke auf die Kohlensäureassimilation im Chlorophyll näherzutreten.

Wolkoff gelangte zu folgenden Resultaten:

1. Die Intensität der Gasausscheidung aus den grünen Wasserpflanzen steht in keinem nachweisbaren Verhältniss zu den Intensitäten der chemischen Strahlen des Spectrums allein.[3]

2. Die Ausscheidung der Gase aus Wasserpflanzen ist der Intensität des Lichtes proportional.[4]

An der Richtigkeit des ersten Satzes ist in Anbetracht unserer bisherigen physikalischen und physiologischen Kenntnisse wohl nicht zu zweifeln.

Was den zweiten Satz anbelangt, so war die angewendete Methode, die Gesammtenergie der Strahlung des Lichtes durch die chemische Intensität des Lichtes zu messen, nicht ausreichend, um diesen Satz auf mehr als mittlere

---

[1] Versuche über die heliotropische Empfindlichkeit der Pflanzen. Diese Sitzungsberichte Bd. 101 (1893), I. Abth. S. 46 ffd.

[2] Einige Untersuchungen über die Wirkung des Lichtes von verschiedener Intensität auf die Ausscheidung der Gase aus Wasserpflanzen. Pringsheim, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. V (1866—67) S. 1 ffd.

[3] L. c. S. 11.

[4] L. c. S. 20.

Lichtstärken des gemischten weissen Tageslichtes auszudehnen.

Es ist später von Reinke[1] auf Grund von mit *Elodea canadensis* gemachten Versuchen gezeigt worden, dass allerdings, wie es der zweite Wolkoff'sche Satz lehrt, das gemischte weisse Tageslicht »im Allgemeinen eine der Lichtstärke proportionale Zahl von Luftblasen in der Zeiteinheit entbindet, diese Proportionalität aber aufhört bei Anwendung eines Lichtes, dessen Stärke derjenigen des Sonnenlichtes nahekömmt, indem jede weitere Erhöhung der Lichtstärke keine weitere Steigerung der Gasausscheidung zur Folge hat, aber auch keine Verminderung. Selbst wenn man das Sonnenlicht auf mehr als das Hundertfache concentrirt, scheidet ein Elodea-Blatt die gleiche Zahl von Gasblasen aus, als im einfachen Sonnenlichte.«

Wolkoff benützte, wie schon bemerkt, die sogenannte chemische Lichtintensität, um ein Mass für die gesammte Lichtstärke zu erhalten.

Es wird wohl nicht nothwendig sein, näher zu begründen, dass dieser Weg, die gesammte Lichtstärke zu messen, kein glücklich gewählter war, da nunmehr die durch die Atmosphäre erfolgende Grösse der Absorption der verschiedenen Strahlengattungen genau bestimmt ist, und zahlenmässig ermittelt wurde, wie enorm gross und in Folge des veränderlichen Zustandes der Atmosphäre wie verschiedenartig wechselnd diese Absorption im Bereiche von Blau-Ultraviolett im Vergleiche zu den Strahlen der anderen Bezirke des Spectrums ist.

Übrigens liegt die Feststellung der Beziehung zwischen Kohlensäureassimilation und Lichtstärke einstweilen noch fernab von meinen Wegen, wesshalb kein Grund vorliegt, diesen Gegenstand noch weiter zu erörtern. Es wird sich indess aus manchen der weiter unten folgenden Thatsachen ergeben, wie wenig die chemische Intensität geeignet sein kann, als Mass der Strahlung, auch nur des leuchtenden Theils des Spectrums, zu dienen.

Die Hauptaufgabe, welche ich mir zunächst gestellt habe, betrifft die Beziehung zwischen Lichtintensität und

---

[1] Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft. Bd. I (1883), Heft 11.

Formbildung der Pflanze. Es sind aber auch bereits Untersuchungen über den Einfluss der Lichtstärke auf die Chlorophyllbildung mit Rücksicht auf die Lichtverhältnisse der natürlichen Standortsverhältnisse im Zuge.

Schon in dieser Abhandlung wird eine Reihe von orientirenden Versuchen über den Einfluss der Lichtstärke auf Wachsthum und Gestalt der Pflanzenorgane vorgeführt werden, welche nicht nur den Zweck verfolgt, die in Anwendung kommende Methode der Lichtmessung darzulegen, sondern auch bestimmt ist, auf diejenigen Probleme hinzuweisen, deren Lösung in den nachfolgenden Abhandlungen angestrebt wird.

Einigen dieser Experimente wird wohl auch der Charakter einschlägiger Grundversuche nicht abgesprochen werden; aus einigen derselben ergeben sich auch bereits allgemeine Folgerungen.

Der Grundgedanke, welcher mich bei der Durchführung der Versuche über die Beziehung zwischen Lichtintensität und Formbildung der Pflanzenorgane leitet, ist folgender.

Der Gestaltungsprocess der Pflanze steht — soweit er überhaupt vom Lichte abhängig ist — im Allgemeinen unter dem Einflusse anderer Strahlengattungen, als die Production der organischen Substanz. Im grossen Ganzen sind es die starkbrechbaren Strahlen, welche den Gestaltungsprocess, und die schwachbrechbaren, welche die chemische Umwandlung der organischen Stoffe in der Pflanze beherrschen.

Wenn es nun bei dem Mangel an ausreichenden Erfahrungen derzeit noch nicht möglich ist, den Antheil der einzelnen Strahlengattungen in Bezug auf deren Leistungen im Organismus genau zu bemessen, so darf man doch schon behaupten, dass das Grössenverhältniss des Blattes zum tragenden Stengel in der Regel durch das Licht bestimmt wird und dass in erster Linie die starkbrechbaren Strahlen auf diese Verhältnisse massgebend einwirken. Pflanzen, welche bezüglich ihres Wachsthums eine grosse Empfindlichkeit dem Lichte gegenüber bethätigen, werden, zumal bei hohen Lichtintensitäten, auch durch schwachbrechbare Strahlen (hauptsächlich Roth — Ultraroth)

beeinflusst.[1] Allein bei allen Pflanzen kommen bezüglich des Gestaltungsprocesses der grünen Pflanzenorgane bei mittleren und geringen Lichtintensitäten nur die Wirkungen der starkbrechbaren Strahlen in Betracht. Indem man also von der Wirkung starken Lichtes auf die früher genannten sehr lichtempfindlichen Pflanzen absieht, so hat man in der Messung der Intensität der starkbrechenden Strahlen ein Mittel, um die Beziehung der Lichtstärke zum Gestaltungsprocess zu finden.

Da nun diese starkbrechbaren Strahlen diejenigen sind, die man wegen vielfacher bekannter chemischer Wirkung gewöhnlich die chemischen Strahlen nennt, und da es gute Methoden gibt, die Intensität dieser Strahlen zu messen, so war alsbald der Weg vorgezeichnet, welcher zur Erreichung des zunächst gesteckten Zieles einzuschlagen ist.

Es wurde nach einer alsbald zu erörternden Methode die sogenannte chemische Intensität des Lichtes bestimmt und das Verhältniss derselben zum Gestaltungsprocess der Pflanze ermittelt.

Die gesetzmässige Beziehung zwischen dieser sogenannten chemischen Lichtintensität und dem Gestaltungsprocess geht aus den nachfolgenden mitgetheilten Versuchen mit noch grösserer Klarheit und Schärfe hervor, als aus den bisherigen Erfahrungen.

Es ist fast überflüssig, genauer zu erörtern, dass ausser den sogenannten chemischen Strahlen noch andere Bezirke des Spectrums existiren, welche specifische chemische Wirkungen ausüben. Gerade die allerwichtigsten in der Pflanze sich abspielenden chemischen Processe gehen, wie ja bekannt, hauptsächlich von der starkbrechbaren Hälfte des Spectrums aus, und schon unsere pflanzenphysiologischen Erfahrungen lehren, dass zum mindesten jedem sichtbaren Antheil des Spectrums eine gewisse chemische Leistung zufällt. Man bezeichnet desshalb sehr unpassend die starkbrechbaren Strahlen als specifisch chemische. Wenn ich in der Folge diese

---

[1] Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen l. c. I. Th. S. 184 ffd. und II. Th. S. 10 ffd.

Strahlen nicht als »sogenannte chemische«, sondern kurz als chemische Strahlen bezeichne, so wird dieser der Bequemlichkeit halber gewählte Ausdruck nach dieser kurzen Einschaltung nicht zu Missverständnissen Anlass geben.

Durch welche Mittel das Licht in den Gestaltungsprocess der Pflanze eingreift, ist gänzlich unbekannt, und ich bemerke ausdrücklich, dass ich mir zunächst die Lösung dieses schwierigen Problems nicht als Ziel gesetzt habe, sondern die viel einfachere Aufgabe verfolge, die thatsächliche Beziehung zwischen Lichtstärke und Formbildung der Pflanzenorgane festzustellen.

Doch kann ich die Bemerkung nicht unterdrücken, dass ich in dem Einfluss des Lichtes auf den Gestaltungsprocess nicht lediglich einen mechanischen Vorgang sehe, sondern eine complicirtere Bethätigung vermuthen muss, und vor Allem chemische Wirkungen nicht ausschliesse.

Die als Reservesubstanzen angesammelten Stoffe, welche das Baumateriale des wachsenden Pflanzenkörpers bilden, machen ja sichtliche chemische Wandlungen durch, bevor sie zu intergrirenden Bestandtheilen der organisirten Substanz werden. Wenn nun auch viele dieser chemischen Metamorphosen sich zweifellos ohne Betheiligung des Lichtes vollziehen, wie z. B. die Umwandlung von Stärke in Cellulose, so ist mit Rücksicht auf den tief eingreifenden Einfluss des Lichtes auf den Gestaltungsprocess wohl kaum zu bezweifeln, dass das Licht als Vorbedingung der Formbildung auch chemische Wirkungen hervorruft.

I. Methode zur Bestimmung der sogenannten chemischen Intensität des Lichtes.

Nachdem es sich herausgestellt hatte, dass die chemischen Strahlen des Lichtes für den Gestaltungsprocess von hoher Wichtigkeit, ja in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle von geradezu ausschlaggebender Bedeutung sind, erschien es erforderlich, nach einer Methode zu suchen, welche es ermöglicht, die Intensität der chemischen Strahlen mit für unsere Zwecke möglichster Genauigkeit zu bestimmen.

Ich habe alle einschlägigen Methoden, welche in der Literatur zu finden sind, eingehend studirt,[1] und bin zu dem Resultat gelangt, dass unter denselben für die bezeichneten physiologischen Zwecke keine sich besser eignet, als jene, welche von Bunsen und Roscoe erfunden und ausgebildet wurde, und die heute zur Bestimmung des »photochemischen Klima« in ausschliesslicher Verwendung steht.[2]

Ich werde im Nachfolgenden diese Methode nur insoweit schildern, als es mir für die nachfolgenden Darlegungen nothwendig erscheint und in dieselbe nicht weiter eingehen, als erforderlich ist, um den Werth dieser Methode für pflanzenphysiologische Untersuchungen bemessen zu können.

Es wird sich herausstellen, dass durch das Bunsen-Roscoe'sche Verfahren ein — man darf dies ohne Übertreibung sagen — ungeahnter Einblick in die Beleuchtungsverhältnisse der Pflanze eröffnet wird.

Bekanntlich haben Bunsen und Roscoe anfänglich die im Lichte erfolgende Salzsäurebildung aus Chlor und Wasserstoff zu photometrischen Messungen herangezogen. Diese übrigens schwierig zu handhabende Methode ist aber nur bei ungetrübter Atmosphäre anwendbar. Um diese Methode handelt es sich hier nicht, sondern um eine photographische Methode, welche sich bei jedem Zustand der Atmosphäre zur Bestimmung der chemischen Intensität benützen lässt.

Im Wesentlichen besteht diese Methode darin, dass ein in bestimmter Weise präparirtes photographisches Papier der Lichtwirkung ausgesetzt, und aus der Zeitdauer der Einwirkung

---

[1] Eine sehr klare und übersichtliche Darstellung der Methoden zur Bestimmung der chemischen Lichtintensität gab J. M. Perntner in der österr. Zeitschrift für Meteorologie. Red. v. Hann, 1879. Sehr eingehend behandelt J. M. Eder in seinem Handbuch der Photographie (Halle, 1890) alle bis auf die neueste Zeit angegebenen Methoden zur Bestimmung der chemischen Intensität des Lichtes.

[2] Photochemische Untersuchungen von Bunsen und Roscoe, VI. Abhandlung. Meteorologische Lichtmessungen, Poggendorff's Annalen Bd. 117, (1862) S. 529 ffd. Auf die später von Bunsen und Roscoe diesem Gegenstande gewidmeten Abhandlungen einzugehen, ist für die obigen Darlegungen nicht nöthig. Ich werde indess in der Fortsetzung meiner »Photometrischen Untersuchungen« oft Gelegenheit haben, auf dieselben hinzuweisen.

und aus der Intensität der Färbung unter Zugrundelegung einer Normalfarbe (»Normalschwärze«) auf die Intensität des Lichtes geschlossen wird.

Es handelt sich also um die Herstellung des »Normalpapiers« und der »Normalschwärze«.

Zur Bereitung des ersteren ist ein gutes, homogenes Papier, wie ein solches zu photographischen Aufnahmen dient, zu verwenden.

Nach dem Vorschlag des Herrn Dr. Eder, Director der k. k. Lehr- und Versuchsanstalt für Photographie, welcher mich bei meinen photometrischen Studien in zuvorkommendster Weise mit Rath und That unterstützte, wählte ich zur Herstellung des Normalpapiers das sogenannte Rives 8 Kilo-Papier, welches an Homogenität alle anderen ähnlichen Papiere überragt.

Dieses Papier wird in einer dreiprocentigen Kochsalzlösung durch fünf Minuten untergetaucht belassen und hierauf, vertical aufgehängt, getrocknet. Nachdem das Papier lufttrocken geworden ist, lässt man es auf einer zwölfprocentigen Lösung von salpetersaurem Silber durch zwei Minuten schwimmen, wobei Sorge getragen werden muss, dass zwischen Papier und Flüssigkeit keine Luftblasen auftreten.

Das so präparirte Papier wird im Dunkeln vertical aufgehängt und kann, nachdem es trocken geworden ist, sogleich benützt werden. Man kann es 15—24 Stunden hindurch zu photometrischen Messungen benützen, länger nicht, da sich später die Lichtempfindlichkeit ändert. Es braucht wohl nicht näher auseinandergesetzt zu werden, warum die »Silberung« des Papiers nicht im Tageslichte, sondern nur bei einer Beleuchtung vorgenommen werden darf, welche den Silbersalzen gegenüber unwirksam ist, z. B. im Lichte einer Natriumflamme. Bei rascher Operation ist aber Gaslicht ohne weiters zulässig, obgleich dasselbe photographisch nicht unwirksam ist.

Das Bunsen-Roscoe'sche Normalschwarz ist ein Gemenge von 1000 Gewichtstheilen chemisch reinem Zinkoxyd mit 1 Theil bei Luftabschluss geglühtem, von einer Terpentinölflamme gelieferten Russ.

Auf die Herstellung der Normalschwärze muss die grösste Aufmerksamkeit verwendet werden, da alle Intensitätsangaben auf derselben beruhen, und eine ungenaue Darstellung derselben zu Zahlen führt, welche sich an die in richtiger Weise gewonnenen Zahlen nicht anschliessen.

Die im richtigen Verhältnisse gemischten Mengen von Zinkoxyd und Lampenruss müssen in der Reibschale so lange gemengt werden, bis eine völlig constante Färbung erzielt wird, wozu ein Zeitraum von einer bis mehreren Stunden erforderlich ist. Die Mischung wird so lange fortgesetzt, bis durch vergleichende Untersuchung ihre Constanz des Farbentones festgestellt wird. Mein geehrter Freund und College Herr Prof. Weidel hatte die Güte, die zu meinen Versuchen benützte Normalfarbe genau nach der Bunsen-Roscoe'schen Methode für mich herzustellen, für welche höchst mühevolle Arbeit ich ihm hiermit meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

Die pulverige Masse wird sodann durch eine Hausenblase-Lösung gebunden und die so erzielte Deckfarbe auf Zeichenpapier aufgetragen. Man erhält, unabhängig von der Dicke der aufgetragenen Schichte, eine gleichmässig tingirte Fläche, deren Farbe am besten als ein lichtes Taubengrau bezeichnet werden kann.

Diese Farbe entspricht aber nicht einer bestimmten Lichtintensität, wie denn überhaupt kein einziger Farbenton, welchen das Licht auf dem Normalpapier hervorbringt, auf eine bestimmte Lichtintensität hinweist.

Die Lichtintensitätsbestimmung beruht vielmehr auf dem von Bunsen und Roscoe ermittelten, innerhalb sehr weiter Grenzen geltenden Satze, dass gleichen Färbungen der im Lichte sich tingirenden Normalpapiere gleiche Producte aus Lichtintensität und Zeit entsprechen.

Jede einzelne Färbung entspricht also unendlich vielen Intensitäten, aber bezogen auf eine bestimmte Zeit, nur einer bestimmten (chemischen) Lichtstärke.

Als Masseinheit der chemischen Lichtintensität wird eine Schwärzung des Normalpapiers angenommen, welche mit der Normalschwärze überein-

stimmt und im Zeitraum einer Secunde hervorgerufen wird.

Wenn der Ton der Normalschwärze auf dem Normalpapier in 2, 3, 4, 5...n Secunden erreicht wird, so ist die Intensität des Lichtes = 1, dividirt durch die Zahlen 2, 3, 4, 5....n.

Bei geringen Lichtintensitäten wird es auf diese Weise leicht möglich sein, durch directen Vergleich des durch das Licht hervorgerufenen Farbentones mit der Normalfarbe den Grad der chemischen Lichtintensität festzustellen.

Wenn aber höhere Lichtintensitäten herrschen, bei welchen wenige Secunden genügen, um den Ton der Normalschwärze zu erreichen, so wird begreiflicherweise die Bestimmung desto unsicherer, je kleiner der zu ermittelnde Zeitwerth ist, welcher bei besonders grosser chemischer Intensität sogar Bruchtheile einer Secunde betragen kann.

Bunsen und Roscoe haben nun eine Methode angegeben, nach welcher es gelingt, aus einer beliebig gewählten Zeit mit Zuhilfenahme einer Scala die jeweiligen Intensitäten zu bestimmen. Der Vergleich des direct erhaltenen Farbentons mit der (photographisch fixirten und desshalb anders gefärbten) Farbenscala kann nur in einer Dunkelkammer mit Zuhilfenahme einer Natriumflamme vorgenommen werden.

Für physiologische Zwecke reicht man aber mit einem einfacheren Verfahren aus, das jederzeit sofort im Tageslicht angewendet werden kann.

Dieses Verfahren, welches selbstverständlich nur dann in Anwendung gebracht wird, wenn die oben geschilderte directe Methode wegen zu grosser Lichtintensität nicht mehr zulässig ist, oder wenn aus Ursachen der Beleuchtung das Erreichen des Normaltones nicht mit Sicherheit beurtheilt werden kann, besteht in Folgendem.

Man lässt das Licht auf das Normalpapier durch eine genau ermittelte Zeit einwirken, z. B. durch 20 Secunden, und ermittelt an einem schwächer beleuchteten Orte die Zeit, welche erforderlich ist, um daselbst den früher gewonnenen Farbenton zu erreichen. Kennt man die Intensität des Lichtes am letztgenannten Orte, so lässt sich mit Zuhilfenahme des oben angeführten Satzes, demzufolge gleiche Färbungen des

Normalpapiers gleichen Producten aus Zeit und Intensität entsprechen, die gesuchte grosse Intensität bestimmen.

Wenn beispielsweise im hellen Sonnenlichte, dessen Intensität bestimmt werden sollte, innerhalb 20 Secunden ein bestimmter Farbenton F erreicht worden wäre, so ist zunächst zu ermitteln, welche Zeit im mittleren oder schwachen diffusen Lichte zur Erreichung von F erforderlich ist; diese Zeit würde z. B. 80 Secunden betragen. Wenn nun dieses schwächere Licht die Intensität 0·1 besässe, oder, was dasselbe ist, wenn daselbst zur Hervorrufung der Normalschwärze die Zeit von 10 Secunden erforderlich gewesen wäre, so ergibt sich folgende Proportion:

$$x : 20 = 10 : 80; \qquad x = 2\cdot 5,$$

d. h. die Intensität, welche im Sonnenlichte zur Färbung F führte, führt in 2·5 Secunden zur Hervorrufung der Normalschwärze.

Mithin betrug die gesuchte Intensität $\frac{1}{2\cdot 5} = 0\cdot 4$.

Da nun innerhalb der beobachteten Zeit von 80 Secunden die Lichtintensität sich geändert haben könnte, so wird es die Genauigkeit der Intensitätsbestimmung erhöhen, wenn innerhalb dieser Zeit die Intensität des zur indirecten Bestimmung benützten diffusen Lichtes mehrmals bestimmt, und dann das sich ergebende arithmetische Mittel zum Vergleiche herangezogen wird.

Damit ist das Princip der Intensitätsbestimmung dargelegt und es handelt sich nur noch um die Art der Ausführung der photometrischen Versuche.

Ich benütze einen Insolator der einfachsten Art. Derselbe besteht aus einer 10 *cm* langen und 8 *cm* breiten, 6 *mm* dicken Platte aus weichem Holz, welche bis auf einem etwa 4 *mm* breiten, dem oberen (schmalen) Ende der Platte zugewendeten Spalt mit dickem, schwarzem für Licht undurchgängigem Papier bedeckt ist. Die Befestigung des Papieres erfolgt durch Heftnägel. Dasselbe liegt dicht an, gestattet aber den Durchgang von schmalen (etwa 6—8 *mm* breiten) Papierstreifen. Es wird zunächst ein Streifen durchgezogen, welcher mit einer Schicht

von Normalschwärze dicht und gleichmässig bedeckt ist. Neben denselben wird ein Streifen von Normalpapier durchgezogen, was selbstverständlich bei einem Lichte erfolgen muss, welches auf das Normalpapier nicht einwirkt. Hierzu kann Gaslicht oder, wie ich später näher darlegen werde, für den Zeitraum weniger Secunden auch sehr schwaches diffuses Licht benützt werden.

Die Zeitbestimmung wird entweder mit einer an das Ohr gehaltenen Taschenuhr, oder noch besser mittelst eines sogenannten Chronographen vorgenommen. Im ersteren Falle müssen die Zeittheilchen (gewöhnlich $0 \cdot 4''$) gezählt und später auf Secunden umgerechnet werden. Im letzteren Falle genügt ein Druck auf die Feder, um im Momente des Versuchsbeginnes das Secundenlaufwerk in Bewegung zu setzen und ein zweiter, um dasselbe am Ende des Versuches zum Stillstand zu bringen.

Der Insolator liegt während der Beobachtung horizontal. Mit einer Hand zieht man ein Stück bedeckt gewesenes Normalpapier vor den Spalt und in demselben Augenblicke bringt man mit der andern Hand das Secundenlaufwerk in Gang. In dem Augenblicke, in welchem jene Färbung auf dem Normalpapier erreicht ist, welche der Normalschwärze entspricht, drückt man neuerdings auf die Feder, wodurch, wie erwähnt, der Zeiger stille steht, so dass auf diese Weise eine hinreichend genaue Zeitbestimmung ermöglicht wird, ohne dass man den Schluss der Beobachtung auf der Uhr abzulesen braucht. Durch einen dritten Druck auf die Feder des Chronographen stellt sich derselbe wieder auf 0 (60) ein, worauf das Spiel der Uhr in gleicher Weise fortgesetzt werden kann.

Bei einiger Übung gelingt es leicht auf diese Weise bei nicht zu grosser Lichtstärke hinreichend genaue Intensitätsbestimmungen vornehmen zu können.

Besondere Vorsichten sind bei der oben genannten indirecten Intensitätsbestimmung nöthig. Es wird ein etwa der Länge des Insolators gleicher Streifen des Normalpapiers frei der Einwirkung des zu prüfenden Lichtes durch eine genau bestimmte Zeit ausgesetzt. Der relativ stark tingirte Streifen wird rasch und bei sehr schwachem diffusen Lichte, welches

eben noch gestattet, Druck mittlerer Grösse zu lesen — bei einem so schwachen Tageslichte ist für kurze Zeiträume, wie wir später sehen werden, die Wirkung auf das Normalpapier so gut wie Null — in den Insolator gebracht, und zwar derart, dass zwischen diesem Streifen und dem Normalschwarz-Streifen ein Streifen von frischem Normalpapier zu liegen kömmt. Man lässt nun schwaches, aber auf das Normalpapier deutlich wirkendes diffuses Tageslicht so lange einwirken, bis das anfangs weisse Papier den Ton des gefärbten Streifens angenommen hat. Da aber dieses letztere seinen Farbenton im Lichte steigert, so ist es nothwendig von Zeit zu Zeit bedeckte Partien des gefärbten Streifens vor den Spalt zu bringen und mit dem sich langsam färbenden Normalpapier zu vergleichen.

Selbstverständlich muss, wie übrigens schon oben bemerkt wurde, die Intensität jenes Lichtes, welches zur indirecten Intensitätsbestimmung dient, nebenher ein- oder noch besser mehrmals bestimmt werden.

Nach dem angegebenen Verfahren gelingt es bei einiger Übung auch sehr hohe Lichtintensitäten für unsere Zwecke hinreichend genau zu bestimmen.

Nur noch auf einen Umstand, der manchmal die Intensitätsbestimmung stört, habe ich aufmerksam zu machen. Der Streifen des Normalpapiers nimmt im Lichte einen zwischen Violett und Blau gelegenen Farbenton an, welcher sich manchmal so weit von der Farbe der Normalschwärze entfernt, dass die Ablesung unsicher wird. Bei der Bunsen-Roscoe'schen Methode, welche den Vergleich des Tons des Normalpapiers mit der fixirten Scala erfordert, erfolgt die Ablesung im Lichte einer Natriumflamme und es kann desshalb eine Irrung nicht vorkommen, da, wie verschieden auch die Färbungen des Normalpapiers und die der Scala sein mögen, alle diese Töne in einem gleichmässigen Graugelb erscheinen.

Dasselbe erzielt man, wenn man das zu prüfende Normalpapier mit einem gelben Glase bedeckt, welches den ganzen stark brechbaren Theil des Spectrums auslöscht und aus diesem Grunde die photographische Wirkung aufhebt. Findet man nach Bedeckung mit dem gelben Glase, dass der Normalton

noch nicht erreicht ist, so lässt man noch so lange directes Licht einwirken, bis vollkommene Übereinstimmung in der Farbe zwischen dem Normalpapier und dem Normalton herrscht. Es ist selbstverständlich, dass die Zeit, während welcher das Normalpapier mit dem gelben Glase bedeckt ist, nicht in den Zeitwerth eingerechnet werden darf.

In dieser Abhandlung ist es nicht nöthig, noch näher in die Methode der Ermittlung der chemischen Intensität des Lichtes einzugehen.

Die nächstfolgende Abhandlung meiner »Photometrischen Untersuchungen« wird die Resultate der pflanzengeographischen und klimatologischen Zwecken dienenden Untersuchungen über das photochemische Klima von Wien und über die chemischen Lichtintensitäten, welchen die Pflanzen an ihren natürlichen Standorten in der Umgebung Wien's ausgesetzt sind, bringen.[1] In dieser zweiten Abhandlung wird es nothwendig sein, noch näher in die Methode der Intensitätsbestimmung einzugehen.

II. Vorläufige Bemerkungen und Daten über die chemische Lichtintensität an den Pflanzenstandorten.

Die bisher von Bunsen, Roscoe, Torpe, Stelling und einigen anderen Forschern vorgenommenen Bestimmungen der chemischen Lichtintensität dienten der Ermittlung des photochemischen Klimas verschiedener Erdpunkte (Heidelberg, Manchester, St. Petersburg, Parà etc.) und gingen darauf aus, die Intensität des gesammten Tageslichtes festzustellen. In einigen Versuchsreihen wurde der Antheil, den das Sonnenlicht und jener, den das zerstreute Tageslicht an der Gesammtwirkung hat, besonders bestimmt.

Die Ermittlung des photochemischen Klimas ist zweifellos in pflanzengeographischer Beziehung von nicht geringem Werthe, und dies ist ja einer der Gründe, wesshalb ich diesem Gegenstand meine Aufmerksamkeit zugewendet habe.

---

[1] Die Versuche über das photochemische Klima von Wien haben am 21. December 1892 begonnen und werden von mir in Gemeinschaft mit Herrn Dr. F. Krasser ausgeführt.

Aber in pflanzenphysiologischer Beziehung gestattet die Bunsen-Roscoe'sche Methode noch eine andere Auswerthung.

Bei der grossen Bedeutung, welche, wie schon dargelegt wurde, die sogenannten chemischen Strahlen auf den Gestaltungsprocess der Pflanze ausüben, erscheint es zunächst wichtig, die chemischen Intensitäten der Standorte der Pflanze zu ermitteln, welche durch die »chemische Intensität des gesammten Himmelslichtes« in der Regel nicht gegeben ist.

Wenn man an den Waldrand tritt und dieser voll von der Sonne beleuchtet ist, so hat man den Eindruck, als würden die daselbst auftretenden, von der Sonne beschienenen Pflanzen der gleichen Lichtstärke ausgesetzt sein, wie völlig frei exponirte Gewächse. Die directe Bestimmung der an diesem Orte herrschenden chemischen Intensität lehrt aber, dass dieselbe nicht unerheblich geringer ist, als jene chemische Lichtstärke, welcher ein völlig frei exponirtes Object ausgesetzt ist, wie folgende Daten lehren.

Am 30. März war im Wiener Augarten die chemische Intensität des gesammten Tageslichtes um $10^h\ 45^m = 0 \cdot 427$. Am Südostrande eines dort befindlichen dichten, noch gänzlich unbelaubten, aus hochstämmigen Bäumen zusammengesetzten Rosskastanienbestandes herrschte aber im vollen Sonnenlichte gleichzeitig bloss eine Intensität $= 0 \cdot 299$. Im Schatten eines Rosskastanienstammes (NE) betrug die Intensität nur 0·023.

Welche Abminderung die chemische Intensität des auf die Pflanze fallenden Sonnenlichtes mitten in einem unbelaubten Baum- und Strauchbestande erfährt, möge den nachfolgenden Zahlen entnommen werden.

An einem sonnigen, fast wolkenfreien Tag (27. März) betrug um 12^h m. im Schönbrunner Park (Gloriette) die Intensität des gesammten Tageslichtes 0·712. Hundert Schritte vom Rande des hauptsächlich aus *Quercus Cerris* und *Carpinus Betulus* bestehenden Waldes, dessen Unterholz vorzugsweise *Sambucus nigra*, ferner *Evonymus europaeus* und *verrucosus* bildeten, entfernt, betrug die chemische Intensität des einfallenden Sonnenlichtes 0·355, während im Schatten der noch

völlig laublosen Bäume die Intensität bloss den Werth 0·166 erreichte.

Ende März wurde an einem gleichfalls sonnigen Tage in einer Au, in welcher vorzugsweise Pappeln, Weiden und Ahorne auftraten, um 9^h 30^m a. m. bei einer Intensität des gesammten Tageslichtes = 0·342 in der Sonne eine Intensität von 0·240, im Schatten von 0·171 nachgewiesen.

Aus diesen wenigen Daten ist schon zu ersehen, welche starke Verminderung die chemische Intensität in unbelaubten Holzbeständen erfährt. Wie gross dieselbe in belaubten Beständen ist, wird unten durch Zahlen belegt werden.

Es seien hier einige Daten über die Verminderung der chemischen Lichtintensität in Gewächshäusern mitgetheilt.

An einem sonnigen, nur wenig bewölkten Tage in den letzten Tagen des März wurden im grossen Palmenhause zu Schönbrunn von mir einige Intensitätsbestimmungen vorgenommen.

Intensität des gesammten Tageslichtes 10^h a. m. = 0·635, Sonne im Parterre des Gewächshauses = 0·123, wobei vorne (der Sonne zugekehrt) die doppelte Verglasung sich befand und rückwärts die Gewächse standen.

Mitten im Gewächshause beobachtete ich kurz darauf in der Sonne 0·062, im Schatten 0·046.

Sehr gering ist die chemische Intensität inmitten belaubter Holzgewächse, wofür ich einige charakteristische Beispiele anführen will.

An einem sonnigen Märztage betrug die gesammte Intensität des Tageslichtes um die Mittagsstunde 0·666. Im Schatten einer dicht beblätterten 8 *m* hohen und 5·8 *m* im grössten Durchmesser haltenden Fichte, welche fast bis auf den Grund mit Ästen versehen war, betrug in der Höhe eines Meters und ein Meter von der Peripherie entfernt die Intensität bloss 0·021. Die physiologische Helligkeit war daselbst aber noch eine so bedeutende, dass die vergleichende Bestimmung der chemischen Intensität mit grosser Sicherheit vorgenommen werden konnte, da die Vergleichsstreifen noch sehr gut beleuchtet erschienen.

Eine ähnliche starke Schwächung der starkbrechbaren Strahlen beobachtete ich auch an anderen wintergrünen

Nadelbäumen. Dieser Umstand erklärt die Erscheinung, dass die Blattknospen der wintergrünen Coniferen in der Peripherie des Baumes gelegen sein müssen, damit die Nadeln zur normalen Entwicklung gelangen können. Die sommergrünen Coniferen (*Larix*, *Salisburya*) zeigen eine andere Vertheilung der Knospen. Wie bei allen sommergrünen Laubgewächsen reichen auch bei diesen zuletzt genannten Nadelbäumen die Laubknospen bis in die Tiefe der Krone, wo sie natürlich chemisches Licht von genügender Intensität zur Entwicklung finden.

Dass das in die Tiefe der begrünten Krone der gewöhnlichen Coniferen dringende schwachbrechbare Licht zur Assimilation der anorganischen Stoffe ausreicht, wird wohl Niemand bezweifeln. Es ist aber nunmehr ersichtlich, dass das dort anlangende, des grössten Theil der starkbrechbaren Strahlen beraubte Licht zur normalen Sprossenentwicklung nicht mehr zureichend ist.

Ganz ähnliche Verhältnisse, wie die bezüglich der wintergrünen Nadelbäume eben vorgeführten, ergeben sich auch bei den wintergrünen Laubgewächsen. Auch hier sehen wir die Tendenz, nur die im Vergleiche zum Laube peripheren Knospen zur Ausbildung zu bringen. Ein Blick auf die Knospenbildung von *Buxus* zeigt uns die Förderung der terminalen und der ihnen zunächst liegenden Axillarknospen, und eine Unterdrückung aller jener Laubknospen, welche in Folge ihrer geringen Beleuchtung durch sogenanntes chemisches Licht keine Aussicht auf Weiterentwicklung hätten.

Wie geringe die chemische Intensität im *Buxus*-Laube ist, lehrt folgende Beobachtung.

Um 11^h 25^m desselben Tages, an welchem die eben mitgetheilten Lichtverhältnisse einer Fichte ermittelt wurden, bestimmte ich die chemische Intensität des Lichtes im Innern eines frei exponirten *Buxus*-Strauches, welcher ungeschnitten war, eine Höhe von etwa 1 *m* und einen beiläufigen grössten Durchmesser von 1·4 *m* besass. 40 *cm* vom oberen Ende und ebenso weit von der Peripherie entfernt, betrug die chemische Lichtstärke bei einer Intensität = 0·518 des gesammten Tageslichtes bloss 0·017,

d. h. die chemische Intensität wurde bis auf ein Dreissigstel abgeschwächt.

Da indess ein einziges Blatt von *Buxus sempervirens* schon eine totale Absorption des chemisch wirksamen Lichtes herbeiführt, so ist die mitten im Laube sich einstellende Verminderung der Lichtstärke doch nur eine geringe. Bei so starker Absorption der chemisch wirksamen Strahlen durch die einzelnen Blätter sollte man noch eine viel stärkere Reduction der Lichtstärke vermuthen, und die factisch sich einstellenden Verhältnisse werden nur verständlich, wenn man sich gegenwärtig hält, dass das diffuse Licht nach unendlich vielen Richtungen ausstrahlt.

Die sommergrünen Holzgewächse befinden sich also dem Lichte gegenüber in ganz anderen Verhältnissen, als die immergrünen, indem die Laubknospen in einer Zeit zur Entwicklung kommen, in welcher die Blätter des Vorjahrs abgefallen sind, mithin die Laubknospen auch mitten in einer noch so reich entwickelten Krone zur Entfaltung gelangen können.

Doch zeigt sich auch hier ein auffälliges Streben nach Licht, das vornehmlich in der Epitrophie und Amphitrophie der Knospen und Zweige zum Ausdrucke kommt.[1] Diese Bevorzugung der Lichtstellung der Knospen der meisten Laubgewächse hat, wenigstens zum Theile, ihren Grund in der Abschwächung, welche das chemisch wirksame Licht selbst innerhalb des laublosen Geästes erfährt, wofür früher einige Belege angegeben wurden.

Wie sehr die Belaubung der sommergrünen Holzgewächse die chemische Lichtintensität abschwächt, möge folgenden in den ersten Tagen des Mai in der Zeit von 9—12^{h} Mittags beobachteten Daten entnommen werden.

In der nachfolgenden Zusammenstellung bedeutet I Intensität des gesammten Tageslichtes, i Intensität der Sonne innerhalb der Baumkrone und i' Intensität im Schatten.

---

[1] Wiesner, Untersuchungen über den Einfluss der Lage auf die Gestalt der Pflanzenorgane l. c.

Beobachtetes Object	I	i	i'	Verhältniss von $I:i:i'$
Ulmus campestris. Hoher Baum, mit Früchten besetzt, im Beginne der Belaubung	0·182	—	0·091	$I:i' = 2:1$
Bestand aus hohen Schwarzpappeln, dicht stehend, fast vollkommen belaubt	0·200	—	0·100	$I:i' = 2:1$
Freistehende Rosskastanie, mässig hoher Baum, vollständig belaubt	0·321	—	0·024	$I:i' = 14:1$
Bestand aus hohen, dicht stehenden Rosskastanien. Vollkommen belaubt	0·555	0·066	0·012	$I:i:i' = 46:5:1$
Kleiner dichter Bestand aus 8—12 *m* hohen Fichten	0·500	0·070	0·017	$I:i:i' = 29:4:1$

Mit dem Wechsel der Belaubung ändert sich die chemische Intensität jenes Lichtes, auf welches die im Bereiche der Holzgewächse auftretende Vegetation angewiesen ist, in einem viel höheren Masse, als es nach der Beurtheilung mit dem Auge den Anschein hat.

Schon im unbelaubten Walde und in der unbelaubten Au herrscht, wie wir gesehen haben, sowohl im Sonnenschein, als bei Beleuchtung durch das diffuse Tageslicht eine stark verminderte chemische Lichtintensität. Noch weit mehr wird die letztere während und nach vollzogener Belaubung deprimirt. Mit diesem Wechsel des chemisch wirksamen Lichtes hängt die Art der krautigen und Strauchvegetation des Waldes und der Auen auf das Innigste zusammen.

Man kennt die charakteristischen Begleitpflanzen des Buchen-, des Eichen-, des Fichtenwaldes etc., ist aber bisher über den Zusammenhang, welcher zwischen dem Auftreten der Begleitpflanzen und der Schirmbäume besteht, noch nicht in's Klare gekommen. Es kann schon nach den bisher gewonnenen Erfolgen nicht daran gezweifelt werden, dass die jeweilig in den verschiedenen Waldgattungen herrschende chemische Intensität diese Verhältnisse in mehr oder minder hohem Masse beherrscht.

Wir sehen im Frühlinge vor der Belaubung der Bäume den Boden der Auen mit einer reichen Krautvegetation bedeckt, und finden, dass der grösste Theil des Unterholzes schon reich beblättert ist, während die Bäume fast noch gänzlich kahl sind. So sah ich anfangs April im Wiener Augarten *Sambucus nigra, Evonymus europaeus, E. verrucosus, Lonicera xylosteum, Ligustrum vulgare, Crataegus Oxyacantha* (Strauchform), *Prunus Padus* (Strauchform) schon im Blätterschmucke stehen, während die über das Strauchwerk ragenden Bäume (Linden, Ahorne, Pappeln etc.) erst ihre Knospen zu öffnen begannen. Die lichtbedürftige Kraut- und Strauchvegetation des Waldes muss vor der Belaubung der Bäume zur Laubentwicklung gelangen, und nur solches Unterholz, beziehungsweise solche Kräuter und Stauden, deren Laubentwicklung auch bei schwachem Lichte sich zu vollziehen vermag (z. B. *Cornus sanguinea*), können ihre Blattentfaltung verzögern und bis über die Zeit der Belaubung der Bäume hinausschieben.

Die weiter unten folgenden Daten über den Einfluss der chemischen Strahlen auf das Blattwachsthum werden zum Verständniss dieser Verhältnisse beitragen und zeigen, welche Bedeutung die chemische Intensität des Lichtes für den Wachsthums- und überhaupt für den Gestaltungsprocess der Pflanze besitzt,[1] und wie wenig das menschliche Auge geeignet ist, über diesen für das Pflanzenleben so wichtigen Antheil des Lichtes zu urtheilen. Getäuscht durch die Einwirkung der unsere Netzhaut stark afficirenden Strahlen, sind wir geneigt, aus dem Grade der »Helligkeit« auch auf die Intensität des sogenannten chemischen Lichtes zu schliessen, wobei, wie ich schon andeutete, und wie sich aus später folgenden Versuchsergebnissen noch klarer ergeben wird, die grössten Irrthümer unterlaufen können.

Anderseits darf aber nicht übersehen werden, dass jene Lichtstrahlen, welche die stärkste oder doch wenigstens eine

---

[1] Inwieweit die stark brechbaren Strahlen auf die Entstehung der Laubknospen Einfluss haben, habe ich nicht untersucht. Die Annahme, dass ein solcher bestehe, liegt nahe.

viel stärkere Wirkung als die chemischen Strahlen auf die Netzhaut ausüben (Roth, Orangegelb), gerade diejenigen sind, welche die wichtigsten chemischen Vorgänge in der Pflanze (Chlorophyllentstehung, Kohlensäureassimilation) am meisten, vor Allem in viel höherem Masse als die sogenannten chemischen Strahlen (stark brechbaren Strahlen) befördern. Die Strahlen der ersteren Kategorie werden aber sowohl in der Atmosphäre als auch im Laubwerk viel weniger geschwächt, als die Strahlen der letzteren Kategorie, so zwar, dass durch die Abminderung des Lichtes beim Durchgang durch die genannten Medien die Formbildung der Pflanze mehr in Mitleidenschaft gezogen wird, als Chlorophyllbildung, Kohlensäureassimilation und analoge Processe.

Es wird schon aus diesen kurzen Bemerkungen und den Thatsachen, auf welche sich diese stützen, ersichtlich sein, dass der Laubwald eine reichlichere Flora krautiger und strauchartiger Gewächse beherbergen kann als der Nadelwald, wenngleich dieser im Stande wäre, die Assimilationsthätigkeit einer reicheren Bodenflora zuzulassen, als er thatsächlich besitzt. Aber er bietet nicht Licht genug zur Ausgestaltung der grünen Laubblätter. Der sommergrüne Laubwald hingegen gestattet im Beginne der Vegetationsperiode dem chemischen Lichte einen noch so reichlichen Durchtritt, dass das Laub des Unterholzes und der krautigen Vegetation sich rasch und leicht entwickeln kann, und, wenn die chemischen Lichtstrahlen durch die Kronen der Bäume stark abgemindert werden, die Organe der Kohlensäureassimilation thätig sein können, um Reservestoffe für die nächste Frühjahrsentwicklung der Vegetationsorgane oder Baustoffe für Blüthen- und Fruchtbildung zu erzeugen.

Dass auch nach der Belaubung des Waldes Pflanzen von geringem Lichtbedürfniss sich hier wie im stets lichtarmen Nadelwald entwickeln können, ist oben schon angedeutet worden.

Schliesslich möchte ich noch ein paar Beobachtungen über die chemische Intensität in unseren Wohnzimmern anführen, erstlich desshalb, weil dadurch die grossen Schwierigkeiten, welche der sogenannten »Zimmercultur« entgegenstehen,

deutlicher werden, als unter den bisherigen Vorstellungen,[1] und zweitens, um durch ein drastisches Beispiel zu zeigen, wie stark die chemische Lichtintensität bei geringer Abnahme der Helligkeit sinken kann.

Sehr rasch nimmt, vom Fenster nach der Rückwand, in Wohnzimmern die chemische Intensität des Lichtes ab, wie folgende Beobachtung lehrt.

In einem im vierten Stockwerke gelegenen einfenstrigen Zimmer eines Hauses, welchem in der Entfernung von 17 *m* ein gleichfalls vierstöckiges Haus gegenüberstand, war bei einer Intensität des gesammten Himmelslichtes = 0·125 knapp an dem hohen und breiten Doppelfenster die Intensität nur mehr 0·025; 3 *m* vom Fenster entfernt betrug die Intensität nur mehr 0·005, 6 *m* entfernt 0·0006.

Knapp am Fenster war ein grosses Stück (etwa 0·1) des Himmelsgewölbes zu sehen, in der Entfernung von 3 *m* aber bloss ein schmaler Streifen, in der Entfernung von 6 *m* gelangte nur mehr das reflectirte Licht des Daches und der Mauer des gegenüberliegenden Hauses zur Wirkung. Doch war diese zuletzt genannte Stelle des Zimmers als hell zu bezeichnen und es konnte an derselben noch mit Leichtigkeit sehr kleiner Druck gelesen werden. In tieferen Stockwerken ist selbstverständlich zur gleichen Zeit die chemische Lichtintensität noch viel geringer gewesen.

Aus diesen wenigen Beobachtungen ist zu ersehen, unter welch' ungünstigen Verhältnissen die in Zimmercultur gehaltenen

[1] Als Hauptursache der mangelhaften Entwicklung der Pflanzen in unseren Wohnräumen wird die grosse Lufttrockenheit angegeben. Desshalb führte man ja die zierlichen Glaskästen, in welchen die Pflanzen im dunstgesättigten Raume sich befinden, in den Salon ein. Allein in diesen findet eine so starke Absorption des chemischen Lichtes statt, dass nur sehr wenige lichtbedürftige Pflanzen darin gezogen werden können. Kurze Zeit halten sich auch sehr lichtbedürftige Pflanzen im feuchten Glaskasten. Aber bei längerem Aufenthalte leiden die meisten Zimmerpflanzen an einem mehr oder minder stark ausgeprägten Etiolement, in Folge Mangels an chemischen Strahlen. Eine rationelle Zimmercultur muss darauf ausgehen, Pflanzen auszuwählen, welche sowohl bei geringer Luftfeuchtigkeit, als bei geringer chemischer Lichtintensität gedeihen. Dass sich selbst sehr stattliche Pflanzen finden lassen, welche beiden Bedingungen genügen, lehrt die als Zimmerpflanze so beliebt gewordene *Aspidistra elatior* (*Plectogyne variegata* Lk. und Kth.).

Gewächse sich befinden. Es ist an hell erscheinenden Orten des Zimmers allerdings Licht von genügender assimilatorischer Kraft vorhanden, allein es fehlt an genügender chemischer Lichtintensität, welche für den Gestaltungsprocess der Pflanze doch von massgebender Bedeutung ist.

Was ich im Vorhergehenden, im Anschluss an die Methode zur Bestimmung der chemischen Lichtintensität vorgebracht habe, sollte nur andeuten, wie fruchtbringend die photometrischen, mit Rücksicht auf den Gestaltungsprocess anzuführenden Untersuchungen sich gestalten müssen, und dass die zu gewärtigenden physiologischen Ergebnisse auch der Biologie und der Pflanzengeographie zugute kommen werden.

In fortlaufenden Abhandlungen sollen Beiträge zur Kenntniss des photochemischen Klima verschiedener Vegetationsgebiete (zunächst ist die Bestimmung des photochemischen Klimas von Buitenzorg [Java] und eines alpinen Bezirkes in Aussicht genommen; die auf Wien und Umgebung bezugnehmenden Messungen sind, wie schon oben erwähnt, bereits im Gange), ferner Untersuchungen über den Gang der chemischen Lichtintensität im Bereiche typischer Waldformationen, und über die specifische Einwirkung des chemischen Lichtes auf den Formbildungsprocess der Pflanze unter fortwährender Anwendung der Photometrie mitgetheilt werden.

Die nachfolgenden Blätter enthalten Versuche über den Einfluss des chemischen Lichtes bestimmter Intensität auf einige Gestaltungsprocesse der Pflanzenorgane. Schliesslich wird der Versuch unternommen werden, die heliotropische Empfindlichkeit der Pflanzenorgane mit Bezug auf die wirksamen Strahlen (chemische Strahlen) zu bestimmen.

III. Versuche über den Einfluss der chemischen Lichtintensität auf Wachsthum und Gestalt der Blätter und Stengel.

1. Beobachtungen über Etiolement.

Ich halte es für zweckmässig, der Mittheilung dieser Versuche einige Bemerkungen und Beobachtungen über das Etiolement der grünen beblätterten Pflanze vorauszuschicken.

Das Etiolement der genannten Pflanzen prägt sich, wie bekannt, einerseits in dem Mangel an Chlorophyll — wenn nämlich von Gymnospermen und manchen Pteridophyten abgesehen wird — anderseits in dem geänderten Habitus aus.

Uns interessirt hier nur die im Etiolement hervortretende Gestaltänderung der oberirdischen Vegetationsorgane, welche, wie bekannt, in einer Überverlängerung der Stengel und in einer Reduction der Blätter zum Ausdrucke kömmt.

Diese Gestaltänderungen haben für uns insoferne ein Interesse, als sie jene Extreme repräsentiren, welche durch das Licht, dem die betreffende Pflanze angepasst ist, beziehungsweise durch den vollen Mangel des Lichtes, gegeben sind.

Das Zustandekommen des Etiolements zu ergründen ist hier nicht meine Aufgabe; es geht mein Bestreben nur dahin zu zeigen, inwieweit der Mangel oder die Abschwächung des sogenannten chemischen Lichtes direct bei diesem Processe betheiligt ist.

Ich habe mir die Ansicht gebildet, dass wir es in der im Etiolement uns entgegentretenden Gestaltsänderung, wie in den meisten Lebensprocessen, mit einem verwickelten Vorgang zu thun haben, und nicht erwarten dürfen diesen Process, wie dies ja mehrfach versucht wurde, auf Eine mechanische Ursache zurückzuführen.

Jedes Etiolement ist, wie sich von selbst versteht, eine Abnormität; es ist aber für die Erklärung der Erscheinung nichts gewonnen, wenn man dieselbe, wie dies ein hervorragender Physiologe gethan hat, als einen krankhaften Zustand bezeichnet.

In welcher Weise das Licht eingreift, um die Erscheinungen des Etiolements hervorzurufen, darüber sind die Ansichten noch nicht geklärt. Denn während Sachs dem Mangel an Licht nur insoferne eine Betheiligung bei dem Zustandekommen des Etiolements zugesteht, als hiedurch Ernährungsstörungen hervorgerufen werden, vor Allem die Zufuhr geeigneter Bildungsstoffe hintangehalten wird,[1] vertritt Pfeffer die Ansicht, dass die Aufhebung des Etiolements durch das Licht in erster Linie

---

[1] Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. S. 645.

auf einer directen Einwirkung des Lichtes auf den Gestaltungsprocess der betreffenden Pflanzenorgane zu suchen sei, und sagt ausdrücklich, dass die nächste Ursache des Etiolements nicht im Nährstoffmangel liege.[1]

Seit den vielen Jahren, in welchen ich mich mit der Einwirkung des Lichtes auf die Pflanze beschäftige, stehe ich auf dem gleichen Standpunkt wie Pfeffer, und alle meine in dieser Abhandlung vorgeführten Beobachtungen bestärken mich in dieser meiner Auffassung. Dass aber auch — auf das Licht zurückzuführende — Ernährungsstörungen beim Etiolement vorkommen, stelle ich nicht in Abrede, nur kann ich Sachs nicht zustimmen, wenn er die Ansicht vertritt, dass das Unterbleiben der Assimilation im Chlorophyllkorn die Hauptursache des Etiolements bilde.

Er sagt:[2] »Es handelt sich (beim Etiolement in schwachem Lichte) vorwiegend darum, ob die Lichtintensität überhaupt noch hinreicht, Assimilation im Chlorophyll zu bewirken; ist dies nicht der Fall, wie z. B. gewöhnlich im Innern eines Wohnzimmers, so können zwar noch grüne Blätter entstehen, so lange der Nahrungsvorrath reicht; da aber keine neue Assimilation stattfindet, so wird dieser Vorrath nach und nach erschöpft, die Pflanzen wachsen sich zu Tode — ein sehr gewöhnlicher Fall, wenn man dieselben auf Blumentischen im Zimmer stehen lässt.«

Dass der Mangel an Bildungsstoffen nicht die Hauptursache des Etiolements sein kann, geht aus zweierlei Thatsachen hervor. Erstlich etioliren bei Ausschluss von stark brechbarem Lichte die Pflanzen in schwach brechbarem Lichte, obwohl dieses die Assimilation geradezu beherrscht. Zweitens kann, wie die Keimung der Samen und das Treiben der Knollen lehrt, Etiolement auch bei einem Überfluss an assimilirten Stoffen eintreten.

Ich sagte schon früher, dass ich das Etiolement für einen complicirten Vorgang halte. Ich denke mir auch die Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum nicht als ein einfach mechanisches

---

[1] Pflanzenphysiologie II, S. 139 ffd.

[2] L. c. S. 649.

Eingreifen, sondern räume auch eine bestimmte chemische Wirkung des Lichtes bei dem normalen Wachsthumsprocesse ein, nämlich eine Stoffumwandlung, welche zum Wachsthume erforderlich ist, eine chemische Metamorphose, welche von den stark brechbaren Strahlen ausgeht, die also von der Kohlensäureassimilation völlig verschieden ist.

Doch, wie schon erwähnt, will ich auf das mechanische Zustandekommen des Etiolements in dieser Abhandlung nicht eingehen.

Was nun die thatsächlich leicht festzustellenden Erscheinungen des Etiolements betrifft, so ist der Grad desselben ein specifisch verschiedener. Während die Internodien der Kartoffel im vergeilten Zustande eine Länge von mehreren Centimetern erreichen können, werden die Stengelglieder etiolirter Sprosse von *Sempervivum* nur wenige Millimeter lang, und während die unter normalen Verhältnissen mehr als handgrossen Blätter der erstgenannten Pflanze im Etiolement auf kleine Schüppchen reducirt werden, verkleinern sich im Finstern wohl auch die Blätter der letzteren Pflanze, aber etwa bloss auf ein Drittel. Bekannt ist, dass die Blätter der Runkelrübe im Etiolement sich nur sehr wenig verkleinern (Sachs), die Stengel des Hopfens unter diesen Verhältnissen nur wenig verlängern.

Die Regel, dass die Blätter im Etiolement eine Verkleinerung erfahren, trifft nicht immer zu. Namentlich werden die Blätter der Monocotylen oft als Ausnahme angeführt. Allein meine Untersuchungen haben mir die Überzeugung verschafft, dass die Blätter der Monocotylen im Etiolement das verschiedenartigste Verhalten darbieten. Als Typen führe ich die Blätter von Mais, von *Hyacinthus orientalis* und von *Tradescentia zebrina* an.

Dass die Blätter der Gräser im Etiolement nicht nur keine Reduction, sondern sogar eine Überverlängerung erfahren können, was übrigens schon bekannt ist, wird unten für den Mais zahlenmässig belegt werden.

Der Meinung, dass alle linealen Monocotylenblätter im Etiolement sich verlängern, sind schon früher Sachs und Walz entgegengetreten. Ich fand, dass aus Zwiebeln von

Hyacinthus, welche bis über die Blüthe hinaus im Finstern, beziehungsweise in schwachem Lichte (mittlere tägliche maximale chemische Intensität circa = 0·1) vegetirten, sich die Blätter in folgenden Durchschnittsdimensionen entwickelten:

	Länge der Blätter	Breite der Blätter
Im Finstern	281 *mm*	15 *mm*
Im Lichte	331	26

Die im Finstern erwachsenen Blätter sind nicht nur kürzer, sondern im Verhältniss zur Länge auch schmäler als die im Lichte zur Ausbildung gelangten gestaltet.

Die Sprosse von *Tradescentia zebrina* verhalten sich im Dunkeln wie normale Dicotylensprosse, zeigen nämlich eine auffällige Verlängerung der Internodien und eine Verkleinerung der Blattspreite. Während die Sommerblätter eines zum Versuche gewählten Stockes von *Tradescentia zebrina* eine durchschnittliche Länge von 53 und eine Breite von 21 *mm* annahmen, hatten die bei einer mittleren täglichen, Mittags gemessenen chemischen Lichtintensität von circa 0·12 herangewachsenen Blätter eine (durchschnittliche) Länge von 29 und eine Breite von 10 *mm*. Im Finstern erreichten die Blätter bloss eine Länge von 15 und eine Breite von 7 *mm*, an einzelnen Trieben desselben sogar nur von 8 und 4·5 *mm*. Je kleiner die Blätter werden, desto grösser war die (relative) Überverlängerung der Internodien.

Es scheint als würden auch die Stengel im Etiolement analog den Blättern in extremen Fällen ein entgegengesetzes Verhalten zeigen, mit anderen Worten, als Gestaltänderung nicht nur Verlängerung, sondern auch Verkürzung darbieten. So sollen nach Sachs die Stengelglieder etiolirter Stämme von *Cereus speciosus* kürzer als die normalen sein.[1]

---

[1] In einzelnen speciellen Fällen hat es den Anschein, als würden die Organe gar nicht auf das Licht, beziehungsweise auf den Mangel desselben reagiren, indem sie unter sonst gleichen Vegetationsbedingungen im Lichte dieselbe Dimension annehmen als im Finstern. Einen solchen Fall hat Sachs (Bot. Zeitg. 1863. Beilage S. 12) angeführt, nämlich *Tragopogon porrifolium*, dessen Blätter im Lichte ebenso lang werden wie im Finstern. Ein ähnlicher Fall kömmt unten zur Sprache: Ich fand nämlich, dass die Cotylen der Fichte

Die physiologischen Unterschiede zwischen Blättern und Stengeln sind mithin geringer als gewöhnlich angenommen wird,[1] denn im Etiolement können sich gewisse Blätter wie gewöhnliche Stengel verhalten und auch Stammgebilde scheinen in manchen Fällen beim Wachsthum im Dunkeln sich so zu verhalten wie gewöhnliche Blätter.

Es soll schliesslich noch erwähnt werden, dass im Etiolement eine gewisse Correlation zwischen Blättern und den tragenden Internodien besteht, wie die Versuche mit Kartoffeln lehren, die bei verschiedener Luftfeuchtigkeit im Lichte und im Dunkeln ausgeführt wurden. Die betreffenden Versuche, welche ausserdem im Lichte verschiedener Intensität abliefen, werden weiter unten eingehend mitgetheilt werden. An dieser Stelle sei nur hervorgehoben, dass mit der durch grössere Luftfeuchtigkeit bedingten Begünstigung des Blattwachsthums eine Retardation der Stengelglieder bei Lichtarmuth oder Lichtmangel Hand in Hand geht.

Die folgenden Versuche betreffen den Einfluss der chemischen Lichtintensität auf das Wachsthum der Blätter und Stengel. Ich muss der Mittheilung dieser Versuche Folgendes voranstellen.

Zur strengen Durchführung dieser Versuche wäre es erforderlich, unter Herstellung günstiger Vegetationsbedingungen die Neubildung der organischen Substanz auszuschliessen und auf die Versuchspflanzen nur jene Strahlengattungen einwirken

---

im Finstern nur um Weniges an Länge denen am Lichte herangewachsenen nachstehen.

Das verstärkte Wachsthum der Organe im Lichte ist auf histologische Elemente zurückzuführen, welche durch das Wachsthum im Lichte begünstigt sind, und das verstärkte Wachsthum der Organe im Finstern auf Elemente welche im Wachsthum durch das Licht gehemmt werden. Es scheint am natürlichsten anzunehmen, dass beiderlei Elemente sowohl in Blättern als in Stengeln auftreten; dies vorausgesetzt, bestimmt das Verhältniss beiderlei Elemente, ob das betreffende Organ im Lichte im Wachsthum gehemmt oder gefördert erscheint, oder ob es sich dem Lichte gegenüber neutral verhält, oder richtiger gesagt, zu verhalten scheint, oder ob es positiv oder negativ heliotropisch ist.

[1] Sachs, Bot. Zeitg. 63. Beilage S. 13.

zu lassen, welche die Formbildung beherrschen, um unter Einwirkung bestimmter genau zu ermittelnder chemischer Lichtintensitäten alle übrigen Vegetationsbedingungen in jeder Versuchsreihe absolut constant zu erhalten.

Jeder mit derartigen Versuche Vertraute wird die ausserordentliche Schwierigkeit, in der angegebenen Weise zu experimentiren, begreifen. Da es sich hier nur um orientirende Versuche handelt, so habe ich dieselben einfacher, aber doch so eingerichtet, dass der Hauptzweck, einige wichtige Beziehungen zwischen Lichtintensität und Formbildung der Pflanzenorgane festzustellen, im grossen Ganzen erreicht wurde.

Um den Einfluss der Stoffbildung möglichst auszuschliessen, wurden einerseits nur solche Versuchsobjecte gewählt, welche reich mit Reservestoffen versehen sind, und der Versuch wurde schon in einer Zeit unterbrochen, in welcher noch reichlich Reservestoffe vorhanden waren; anderseits brachte ich fast nur geringe Lichtintensitäten zur Wirkung, welche im gegebenen Falle auf die organische Stoffbildung nur in geringem Grade einwirken.

Wo es mir nothwendig schien, wurde die Beweiskraft der Versuche noch besonders discutirt.

2. Versuche mit Vicia sativa.[1]

Samen dieser Pflanze wurden in drei Blumentöpfen ausgesäet, und im Experimentirraum des Institutes unter folgenden Verhältnissen cultivirt

Ein Töpfchen war im feuchten Raume unter einer farblosen Glasglocke aufgestellt (Hell); ein zweites kam unter eine mit schwefelsaurem Kupferoxydammoniak gefüllte Senebier'sche Glocke (Blau); das dritte endlich wurde mit einem undurchsichtlichen Recipienten bedeckt (Dunkel).

Alle Töpfchen befanden sich in absolut feuchtem Raume, also unter gleichen Verhältnissen der Luftfeuchtigkeit. Die Temperatur schwankte während der Versuchszeit zwischen 17 und 21° C.

[1] Unter dem älteren Namen *Vicia sativa* erscheinen nunmehr die Species *sativa*, *segetalis* und *angustifolia* vereinigt. Wie Figdor (l. c. S. 49) gezeigt hat, verhalten sich diese drei Arten oder Formen dem Lichte gegenüber gleich. Ich habe in meinen jetzigen und früheren Versuchen fast immer mit der schlanken Form *V. segetalis* experimentirt.

Der Versuch begann am 10. und währte bis 30. December.

Die chemische Lichtintensität schwankte in der farblosen Glocke innerhalb dieser Zeit zwischen 0·0002 und 0·042. In der blauen Glocke war diese Intensität um $^1/_3$—$^1/_2$ geringer.

Die mittlere maximale (Mittags gemessene) chemische Lichtintensität betrug 0·0156 (Hell) und 0·0061 (Blau).

Da am Schlusse des Versuches das Trockengewicht der Pflänzchen kleiner war als das der Samen, so kann die stattgefundene Kohlensäureassimilation gleich Null gesetzt und angenommen werden, dass die Pflänzchen sich nur aus Reservestoffen aufbauten.

Die am Ende des Versuches beobachteten Pflänzchen hatten im Durchschnitte sechs Internodien gebildet.

In der nachstehenden Tabelle sind die durchschnittlichen Längen der Pflänzchen und in der Klammer die durchschnittlichen Längen der Internodien, von unten nach oben gezählt, angegeben.

Hell	141 *mm*	(6, 4, 24, 53, 41, 13)
Blau	155	(10, 6, 24, 60, 38, 17)
Dunkel ..	185	(15, 16, 27, 46, 48, 33)

Die Hemmung des Längenwachsthums der Stengel durch die chemischen Lichtstrahlen geht aus diesen Zahlen wohl deutlich hervor.

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind die am Schlusse des Versuches vorgenommenen Messungen der Blätter angeführt. Es wurde von jeder Pflanze das grösste Blatt und das grösste Fiederblättchen gemessen und aus den so beobachteten Werthen die Mittel genommen.

	Länge des gemeinschaftlichen Blattstiels	Länge des Fiederblättchens	Breite des Fiederblättchens
Hell	15 *mm*	11 *mm*	3·8 *mm*
Blau	9	10	2·8
Dunkel ..	7	6	2·1[1]

Diesen Zahlen ist zu entnehmen, dass die chemischen Strahlen des Lichtes das Wachsthum des Blattes, und

[1] Unter gelber (mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali gefüllten) Senebier'schen Glocke verhielten sich bei dieser geringen Lichtintensität die Versuchspflanzen fast genau so wie im Dunkeln.

zwar sowohl das Wachsthum des Blattstieles als der Lamina fördern.

Mit steigender Intensität des chemischen Lichtes fällt also bei *Vicia sativa* — unter gleichen Verhältnissen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit — das Wachsthum der Stengel und steigt das Wachsthum der Blätter.

Da diese Versuche bei geringer Lichtintensität ausgeführt wurden, so wird durch dieselben nicht entschieden, wie weit mit der Steigerung der chemischen Lichtintensität die Förderung des Blatt- und die Hemmung des Stengelwachsthums reicht.

3. Versuche mit keimenden Viscum-Samen.

Es ist bekannt, dass das stark negativ heliotropische hypocotyle Stengelglied (sogenanntes Würzelchen) von *Viscum album* nur im Lichte zur Entwicklung kömmt.[1]

Ich habe schon bei einer früheren Gelegenheit den Versuch gemacht, den unteren Nullpunkt der Lichtintensität für die Keimung (Wachsthum des Hypocotyls) von *Viscum* festzustellen.[2] Es geschah dies mit Zuhilfenahme einer Gasflamme, welche fortwährend mit constanter Leuchtkraft brannte und deren Lichtintensität genau gemessen wurde.[3]

Ich beobachtete bei einer Lichtintensität von 265·8 Meterkerzen lebhaftes Wachsthum des Hypocotyls. Nach den damaligen Bestimmungen liegt bei Anwendung von Gaslicht die untere Grenze der Lichtintensität für das Wachsthum des Hypocotyls von *Viscum album* etwas unter 144 Meterkerzen. Bei der nicht unbeträchtlichen Lichtstärke von 65·2 Meterkerzen wurde selbst nach langen Zeiträumen gar kein Wachsthum constatirt.

---

[1] Näheres hierüber siehe Wiesner, Die heliotrop. Erscheinungen. I. Th., S. 42 ffd.

[2] L. c. S. 43.

[3] Die Lichtintensität wurde photometrisch bestimmt und in Normal-(Walrath-) Kerzen ausgedrückt. Als Einheit wählte ich eine Lichtstärke, welche in der Entfernung von 1 *m* von der Flamme 6·5 Walrathkerzen gleich war. Im obigen Texte sind die Lichtintensitäten auf Meterkerzen umgerechnet.

In diesen Versuchen waren die Keimlinge fortwährender constanter Beleuchtung ausgesetzt. Es war mir nun darum zu thun, die Lichtstärken kennen zu lernen, bei welchen unter natürlichen Beleuchtungsverhältnissen das Wachsthum des Würzelchens von *Viscum* stattfindet.

Die Samen wurden auf Holzbrettchen befestigt und unter gleichen, günstigen Keimungsbedingungen vier verschiedenen Lichtintensitäten ausgesetzt.

Der Versuch währte vom 24. März bis zum 22. April.

Die maximale (stets Mittags gemessene) chemische Lichtintensität schwankte im Experimentirraume während der Versuchszeit zwischen 0·016 und 0·375.

Die Mittel der täglichen maximalen Intensität[1] an den vier Orten der Aufstellung im Experimentirraume waren die folgenden:

$$I_1 = 0{\cdot}142$$
$$I_2 = 0{\cdot}024$$
$$I_3 = 0{\cdot}015$$
$$I_4 = 0{\cdot}0013$$

Die zum Versuche benützten Samen lagen bis zum Versuchsbeginne in den Früchten eingeschlossen, frei dem Lichte ausgesetzt, im Experimentirraume. 12 Procent der Samen befanden sich bereits im ersten Keimungsstadium.

Von den noch ungekeimten trieben die ersten sogenannten Würzelchen hervor:

bei I_1 . . . . . 42 Procent der ausgepflanzten Samen
» I_2 . . . . . 25 » » » »
» I_3 . . . . . 5 » » » »
» I_4 . . . . . 0 » » » »

Von den bereits im ersten Keimungsstadium befindlich gewesenen Samen entwickelten sich die Hypocotyle innerhalb der Versuchszeit durchschnittlich

[1] Die Roscoe'sche Integrationsmethode liefert — wenigstens in gewissen Fällen — ein genaueres Mass der chemischen Lichtintensität. Es würde aber in dieser zur allgemeinen Orientirung bestimmten Abhandlung zu weit führen, auf diese Methode und deren Anwendung in der Pflanzenphysiologie einzugehen; es bleibt dies einer später folgenden Abhandlung vorbehalten.

bei I_1 bis auf die Länge von 5·1 *mm*
» I_2 » » » » » 3·2
» I_3 » » » » » 2·8
» I_4 » » » » » 2·0

Zum Hervorbrechen der sogenannten Würzelchen von *Viscum album* ist also in meinen Versuchen ein Licht erforderlich gewesen, dessen mittlere tägliche Intensität nicht unter 0·015 gelegen ist. Aber die schon ausgekeimten Samen entwickeln sich bei einer noch viel niedriger gelegenen mittleren maximalen Lichtintensität (von 0·0013) weiter. Mit der Abnahme der mittleren maximalen Lichtintensität von 0·142 bis 0·0013 sinkt die Wachsthumsgeschwindigkeit des Hypocotyls continuirlich.

Ein Vergleich der oben mitgetheilten, im Gaslichte angestellten Versuche mit den im Tageslichte vorgenommenen ist ohne weiteres nicht gut durchzuführen, weil die ersteren Versuchsreihen ununterbrochen und in fortwährend constantem Lichte, die letzteren bei Wechsel von Tag und Nacht und bei über Tag sich fortwährend ändernder Lichtintensität angestellt wurden.

Es wurde ferner die chemische Intensität der Gasflamme, mit der damals experimentirt wurde, nicht ermittelt; auch war es mir damals nicht bekannt, dass das Wachsthum des Hypocotyls bei niedrigerer Lichtintensität sich fortsetzt als jene ist, bei welcher der Beginn des Wachsthums eintritt. Da ich damals nicht Rücksicht darauf nahm, ob die Samen noch völlig ungekeimt waren oder im ersten Keimungsstadium sich befanden, so ist auch aus diesem Grunde ein unmittelbarer Vergleich der damaligen Resultate mit den hier vorgeführten nicht gestattet.

Endlich möchte ich nicht unerwähnt lassen, dass ich wegen vorgerückter Jahreszeit nicht mehr in der Lage war, die Versuche zu wiederholen, wesshalb ich über die Grösse der individuellen Schwankungen der Lichtempfindlichkeit des Hypocotyls von *Viscum* nur ungenügend unterrichtet bin.

Es ist oben bemerkt worden, dass ein Theil der Samen, welche zum Versuche benutzt wurden, schon in der Fruchtlage

etwas angekeimt waren, indem die Würzelchen als kleine tiefgrüne Protuberanzen die Samenschale bereits durchbrochen hatten.

Diese Erscheinung kömmt regelmässig vor und erkennt man an der völlig intacten Beere die hervortretenden Würzelchen, welche bis an die Fruchthaut heranreichen und durch diese sehr klar als grüne Punkte hervorleuchten.

Dieses Beginnen der Keimung innerhalb der Fruchtlage ist nur möglich, wenn die chemische Intensität des durch die Fruchtgewebe hindurch zu den Würzelchen dringenden Lichtes noch innerhalb jener Grenzen sich hält, innerhalb welcher das Keimen möglich ist. Von der Richtigkeit dieser Voraussetzung überzeugte ich mich durch folgende Versuche.

Die Fruchtschale wurde in jener Dicke, in welcher sie die Samen bedeckt, abgezogen und auf einem Deckgläschen, dessen Eignung, die chemischen Strahlen zu absorbiren, gleich Null gesetzt werden durfte, dicht befestigt. Durch Bedeckung des Normalpapieres mit dem so adjustirten Deckglas konnte die chemische Intensität des durchgelassenen Lichtes gemessen werden. Es stellte sich heraus, dass bei einer Intensität des äusseren Lichtes von 1 bis 0·04 das durch die Fruchtschale durchgelassene Licht in dem Verhältniss von 1 : 0·5 bis 1 : 0·3 geschwächt erschien. Es werden also die in der Frucht liegenden Samen daselbst von einem Lichte getroffen, dessen chemische Intensität sich an sonnigen Tagen des März und April, wo die chemische Intensität des gesammten Tageslichtes bis über 1 steigt, bis etwa 0·5 erheben kann.

4. Versuche mit Sempervivum tectorum.

Sehr auffällig ist der Einfluss verschiedener Lichtintensitäten auf den Habitus der Sprosse dieser Pflanze.

Will man diesen Einfluss genau kennen lernen, so ist es nothwendig, die unter verschiedener Lichteinwirkung auszuführenden Versuche unter sonst möglichst constanten Vegetationsbedingungen ablaufen zu lassen.

Namentlich ist dafür Sorge zu tragen, dass die verschiedenen Culturen unter gleicher Luftfeuchtigkeit sich befinden. Denn, wie ich schon früher nachgewiesen

habe,[1] übt nicht nur das Licht, sondern auch die Luftfeuchtigkeit einen grossen Einfluss auf die Blatt- und Stengelentwicklung dieser Pflanze aus. Ich habe damals nachgewiesen, dass selbst bei starker Beleuchtung im absolut feuchtem Raume eine Auflösung der Blattrosette bei *Sempervivum tectorum* sich einstellt, also eine starke Förderung des Längenwachsthums der Internodien mit der Steigerung der Luftfeuchtigkeit sich bemerkbar macht. Auch die Blattentwicklung wird durch die Luftfeuchtigkeit stark begünstigt, wie ich gleichfalls schon in der oben citirten Abhandlung angegeben habe.

Aber nicht nur die Feuchtigkeit, sondern auch die Temperatur übt auf den Habitus dieser Pflanze einen sichtlichen Einfluss aus, indem, so viel ich bis jetzt constatiren konnte, mit der Abnahme der Temperatur (unterhalb des Optimum, besonders bei relativ niederen Wärmegraden) die Grösse des Blattes sinkt. Bezüglich des Einflusses der Temperatur auf die Internodienentwicklung scheinen die Verhältnisse complicirter zu sein.

Wenn man nun den Versuch so einrichtet, dass alle Vegetationsbedingungen bis auf die Lichtintensität constant sind, so kann man, bei nicht zu geringen Unterschieden in der Lichtstärke in jeder Versuchsreihe den Unterschied sowohl in der Blatt- als in der Stengelausbildung der betreffenden Individuen constatiren.

Da *Sempervivum tectorum* nicht unerheblich variirt, und wie ich schon angegeben habe, je nach den äusseren Einflüssen in den Gestaltverhältnissen grossen Schwankungen ausgesetzt ist, so ist es nothwendig, zu den Versuchen völlig vergleichbares Materiale, womöglich gleichaltrige Individuen eines und desselben Stockes auszuwählen.

Ich theile zunächst eine sorgfältig durchgeführte Versuchsreihe mit, welche am 1. März begann und bis zum 8. April währte. Die Pflanzen befanden sich in demselben Raume (im Experimentirraume des pflanzenphysiologischen Institutes) bei

---

[1] Wiesner, Formänderungen von Pflanzen im absolut feuchten Raume und im Dunkeln. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft. Bd. IX (1891) Heft 2.

in gleichen Zeiten annähernd gleicher Feuchtigkeit und gleicher Temperatur.

Die relative Feuchtigkeit betrug an den einzelnen Orten der Aufstellung 56—64%.

Die maximale (stets Mittags gemessene) Intensität schwankte im Experimentirraume zwischen 0·008 (nur einmal während der ganzen Beobachtungszeit beobachtet) und 0·391.

Die Mittel der täglichen maximalen Intensität an den vier Orten der Aufstellung waren:

$$I_1 = 0\cdot1201$$
$$I_2 = 0\cdot0415$$
$$I_3 = 0\cdot0018$$
$$I_4 = 0\cdot0002$$
$$I_5 = 0$$

In der nachfolgenden Tabelle bedeutet S durchschnittliche Länge der Stengelglieder, B mittlere Breite, L mittlere Länge der ausgewachsenen Blätter.

	S	B	L
Bei I_1	0	30 *mm*	15 *mm*
» I_2	1·8 *mm*	27	13
» I_3	2·4	21	9
» I_4	3·6	16	5·5
» $I_5 = 0$ ...	9·5	15	4·5

Die bei I_1 erwachsenen Blätter waren tief grün, die bei I_2 lebhaft grün, bei I_3 grünlich, bei I_4 blass grünlich, bei I_5 weiss.

Im Beginne des Versuches waren alle herangewachsenen Blätter intensiv grün. Schon bei I_3 zeigte sich alsbald eine merkliche Zerstörung des Chlorophylls am Blattgrunde, welche desto mehr gegen die Blattspitze zu fortschritt, je mehr die Lichtintensität im Versuche abgenommen hatte.

Auch die Form der Blätter änderte sich je nach der Intensität des Lichtes. Ich gehe aber auf diese Details hier nicht näher ein.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass der normale Habitus dieser auf sonnigen Standort angewiesenen Pflanze nicht erst im Finstern, sondern schon bei

einer relativ hohen chemischen Lichtintensität (mittleres tägliches Maximum von etwa 0·04) verloren geht, wobei die Pflanze bereits den etiolirten Charakter sowohl in der Ausbildung von entwickelten Stengelgliedern, als in der Verkleinerung der Blätter zur Schau trägt. Auch die bei anderen Pflanzen gewöhnlich erst im Finstern vor sich gehende Zerstörung des Chlorophylls[1] stellt sich hier schon bei einer relativ hohen Lichtintensität ein.

Die früher mitgetheilte Versuchsreihe war bei nicht hoch ansteigender Lichtintensität ausgeführt, konnte also nicht lehren, wie bei weiterer Steigerung der Lichtintensität sich das Wachsthum des Blattes verhalte.

Durch eine besondere Versuchsreihe habe ich mich nun davon überzeugt, dass mit steigender Lichtintensität, unter sonst nahezu gleichen Vegetationsbedingungen bei dieser Pflanze die Blattgrösse zu und dann weiter abnimmt.

Die Versuchspflanzen wurden in zwei Partien aufgestellt Die eine war im Laufe eines Monats (April) einer mittleren täglichen Maximalintensität (I) von 0·305, die andere (I_1) von 0·152 ausgesetzt. Die grösste Intensität des auf die erste Partie wirkenden Lichtes betrug etwa 1 (0·979), die grösste Intensität des auf die zweite Partie wirkenden Lichtes etwa 0·5 (0·508).

Die Luftfeuchtigkeit schwankte allerdings zwischen 35 und 60%, war aber zu gleichen Zeiten bei beiden Partien annähernd die gleiche.

Bei I_1 erreichten die Blätter eine durchschnittliche maximale Länge von 31 und eine durchschnittliche maximale Breite von 15 *mm*. Die correspondirenden Werthe für Länge und Breite der Blätter bei I betrugen 26 und 13·5 *mm*.

Inwieweit die Assimilation der anorganischen Stoffe bei dem Gestaltungsprocess von *Sempervivum* betheiligt war, wurde nicht besonders untersucht. Da aber bei Ausschluss von Licht eine reichliche Sprossentwicklung und in schwachem Lichte (I_3—I_4 des vorigen Versuches) eine auffällige Zerstörung des

[1] Wiesner, Untersuchungen über die Beziehung des Lichtes zum Chlorophyll. Diese Sitzungsber. Bd. 69 (1874) 1. Abth. Sep. Abdr. S. 48 ffd.

Chlorophylls sich eingestellt hat, so darf wohl angenommen werden, dass in den vorgeführten Versuchen das zum Aufbau der Blätter und Stengel erforderliche Baumateriale hauptsächlich von den aufgestapelten Reservestoffen herrührte. Die Richtigkeit dieser Annahme vorausgesetzt, wäre auch hier die Formänderung der Sprosse in erster Linie von den stark brechbaren Strahlen des Lichtes ausgegangen.

5. Versuche mit Scolopendrium officinarum.

Den Versuchen mit *Sempervivum* will ich gleich jene mit *Scolopendrium* angestellten folgen lassen. Obgleich wir es in der letzteren mit einer typischen Schattenpflanze zu thun haben, so verhielten sich die Blätter derselben bei verschiedenen Intensitäten genau so wie die Blätter von *Sempervivum*, welche eine ausgesprochene Sonnenpflanze ist.

Auch die Blätter (Wedel) von *Scolopendrium* nehmen mit steigender Lichtintensität nur bis zu einer bestimmten Grenze zu, um von hier wieder abzunehmen, wie folgende Versuche lehren.

Vier bis zum 3. März im Kalthause gehaltene Stöcke von *Scolopendrium officinarum*, deren Blätter noch vollkommen eingerollt waren, wurden bei mittlerer Temperatur und mittlerer Feuchtigkeit so weit cultivirt, bis die Wedel vollkommen ausgewachsen waren. Dieser Grad der Ausbildung war zwischen dem 14. und 29. April erreicht.

Der nachstehenden Tabelle sind die ermittelten chemischen Lichtintensitäten, ferner die am Schlusse des Versuches gemessenen Dimensionen (Mittelwerthe) der Blätter zu entnehmen.

Mittlere tägliche maximale Lichtintensität	Länge des Blattstieles	Länge der Spreite	Breite derselben
$I_1 = 0 \cdot 247$	51 *mm*	152 *mm*	20 *mm* [1]
$I_2 = 0 \cdot 083$	83	228	25
$I_3 = 0 \cdot 007$	85	122	15
$I_4 = 0$	99	76	11 [2]

[1] Die später angelegten Wedel nahmen im Finstern noch bedeutend geringere Dimensionen an.

[2] Kleiner aber breiter wurden die im Sommer des Vorjahres gebildeten überwinterten Wedel. Diese entwickelten sich bei einer viel grösseren durch-

Aus dieser Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass mit abnehmender chemischer Lichtintensität die Länge des Blattstiels zunimmt; die vorgeführten Zahlen lehren aber auch, dass mit zunehmender Lichtstärke die Blattgrösse zuerst zu- und dann wieder abnimmt. Schon bei einer verhältnissmässig niederen chemischen Intensität ist das Maximum der Längen- und Breitenentwicklung der Wedel erreicht.

Inwieweit die Entwicklung der Wedel auf Verwerthung der im Rhizom angesammelten Reservestoffe und auf Assimilation der Nährstoffe beruht, wurde allerdings nicht ermittelt. Aber schon die starke im Finstern fortschreitende Entwicklung der Wedel lehrt, wie reichlich die Reservestoffe des Rhizoms zum Aufbau des Blattes herangezogen werden. Da nun I_1 grösser ist als I_2, die rohen Nahrungsstoffe bei I_1 aber zweifellos relativ stärker als bei letzterer assimilirt werden, die Trockengewichte bei I_1 und I_2 aber nicht wesentlich verschieden ausfielen, so ist zu ersehen, dass das bei I_2 eingetretene Optimum der Blattausbildung nicht auf Kosten der Assimilation der rohen Nahrungsstoffe zu setzen ist, vielmehr zum mindesten in erster Linie der Einwirkung der chemischen Strahlen auf den Formbildungsprocess zuzuschreiben ist.

6. Versuche mit Kartoffelpflanzen.

Mitte Februar brachte ich Kartoffeln in Töpfen bei Lichtabschluss zum Treiben. Nachdem die Triebe die Höhe von etwa 1 *cm* erreicht hatten, wurden die Versuchspflanzen bei nahezu gleicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit verschiedenen Lichtintensitäten ausgesetzt.

Der Versuch begann am 3. und dauerte bis zum 22. März. Die Temperatur des Versuchsraumes schwankte zwischen 17 und 25° C., die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 60 und 79 Procent. Es ist aber zu bemerken, dass zu gleicher Zeit die

---

schnittlichen Lichtintensität als I_1, die aber nicht gemessen wurde. Die im Sommer gebildeten Wedel erreichten eine mittlere Länge von bloss 132 *mm*, hingegen eine Breite von 45 *mm*. Der Blattstiel mass durchschnittlich bloss 31 *mm*.

verschiedenen Versuchspflanzen sich unter annähernd gleichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen befanden.

Die Beobachtungen über die Lichtintensitäten ergaben an den vier Orten der Aufstellung folgende Werthe:

I_1	Durchschnitt	des	täglichen	Maximums	0·0712
I_2	»	»	»	»	0·0080
I_3	»	»	»	»	0·0008
$I_4 = 0$.					

Bezüglich der Höhe der Pflanzen (H) und der Zahl der gebildeten, mit freiem Auge sichtbaren Internodien (i) ergaben sich folgende Durchschnittswerthe:

	H	i
I_1	35 *mm*	10
I_2	58	14
I_3	74	11
$I_4 = 0$	99	8

Bei I_1 und I_2 waren alle Blätter grün, laubartig, aber doch so klein, dass die Messung unterlassen wurde; indess erkannte man auf den ersten Blick, dass die bei I_1 ausgebildeten Blätter grösser als die bei I_2 und I_3 gewachsenen waren. Die bei I_4 gebildeten Blätter waren schuppenförmig.

Vergleicht man die bei den angewendeten Lichtintensitäten (welche sich beiläufig zu einander verhielten wie 100 : 10 : 1 : 0) herangewachsenen Triebe, so erkennt man zunächst, dass die Zahl der innerhalb der gleichen Wachsthumszeit gebildeten Internodien in keinem einfachen Verhältniss zur Intensität steht, anderseits sieht man, dass die Gesammthöhe der Pflanzen mit der Abnahme der Intensität wächst.

Bemerkenswerth ist die Thatsache, dass unterhalb der schon sehr geringen Intensität I_3 (mittlere tägliche maximale Intensität = 0·0008) noch eine sehr starke Wachsthumzunahme des Stengels stattfindet, woraus sich ergibt, dass chemische Lichtintensitäten von ausserordentlicher Kleinheit (unter 0·0008) noch hemmend auf das Längenwachsthum der Stengel einwirken können.

Der retardirende Einfluss des Lichtes spricht sich nicht nur in den Gesammthöhen der Stengel, sondern auch in den Grössen der einzelnen Internodien aus, wie aus folgender Zusammenstellung zu ersehen ist, in welcher die den einzelnen Intensitäten entsprechende Internodienentwicklung ausgedrückt und die Länge der einzelnen Internodien, in der Reihenfolge von unten nach oben angegeben ist.

I_1......2·8, 3, 3·5, 3·2, 3·5, **5**, 4·8, 3, 2, 1 *mm*
I_2......4, 4·2, 4, 4·2, 5, 5, 4·8, 5·4, **6·8**, 5, 4, 3·5, 2 *mm*
I_3......5, 7·2, 8, 9·5, **13**, 8, 6, 4, 3·5, 2 *mm*
$I_4 = 0$..10, 13, 19, 17, **26**, 18, 13, 2 *mm*

Dieselben vier Culturen wurden am 23. März in den absolut feuchten Raum gebracht und daselbst bis 4. April belassen.

Innerhalb dieser Zeit befanden sich die Versuchspflanzen unter absolut gleichen Feuchtigkeitsverhältnissen und zu gleichen Zeiten unter dem Einfluss derselben Temperaturen (welche zwischen 18 und 25° schwankten).

Die Mittel aus den täglichen Intensitätsmaximis waren:

I_1........0·184
I_2........0·019
I_3........0·002
$I_4 = 0$

Was in dieser Versuchsreihe zunächst auffiel, das war die Förderung des Blattwachsthums überhaupt und die Begünstigung des Blattwachsthums in Folge der Steigerung der Lichtintensität und Luftfeuchtigkeit.

Blattgrösse bei:

I_1	Länge im Durchschnitt		57 *mm*
	Breite »	»	33
I_2	Länge »	»	37
	Breite »	»	21
I_3	Länge »	»	25
	Breite »	»	15
$I_4 = 0$	Länge »	»	15
	Breite »	»	8

In der Gesammthöhe differirten aber die im absolut feuchten Raume cultivirten Triebe beträchtlich weniger als im früheren Versuche, bei geringerer Feuchtigkeit.

	Länge der Triebe im absolut feuchten Raume
Bei I_1	250
» I_2	254
» I_3	284
» $I_4 = 0$	370

Die bei mittlerer Luftfeuchtigkeit zur Entwicklung gekommenen Internodien wachsen im absolut feuchten Raume bis auf die aus den jüngsten Anlagen hervorgegangenen nur wenig weiter; hingegen nehmen die neu erzeugten Internodien im feuchten Raume sehr beträchtliche Dimensionen an, wie folgende Zahlen lehren.

Maxima der Internodiallänge:

I_1	29 *mm*	(im früheren Versuche, bei relativ trockener Luft 5 *mm*)
I_2	31	(» » » » » » 6·8)
I_3	38	(» » » » » » 13)
I_4	62	(» » » » » » 26)

Auch aus diesem Versuche ist ersichtlich, dass eine ausserordentlich geringe chemische Lichtintensität noch eine sehr starke Hemmung des Längenwachsthums bewirkt.

Auch diese Versuchsreihe hat ergeben, dass mit abnehmender Lichtintensität sich zuerst eine Zu-, dann eine Abnahme der Internodienzahl einstellt.

Ich will nicht unerwähnt lassen, dass der Grad, in welchem die oberirdischen Adventivwurzeln sich entwickeln, je nach der Intensität des herrschenden Lichtes ein verschiedener war.

An allen anfangs trocken, später im feuchten Raume gezogenen Trieben kamen Adventivwurzeln zur Entwicklung. Immer traten dieselben sowohl zu den beiden Seiten als über den Axillarsprossen hervor.

Je geringer die herrschende Lichtintensität war, desto höher reichten die Adventivwurzeln an den Trieben hinan, so zwar, dass bei der Intensität I_1 nur der unterste Theil des Stammes,

bei der Intensität $I_4 = 0$ fast der ganze Stamm mit Adventivwurzeln versehen erschien, wie folgende Zahlen (Durchschnittswerthe) lehren:

	Höhe der Triebe	Höhe bis zu welcher die Adventivwurzelbildung reicht
Bei I_1	250 *mm*	31 *mm*
» I_2	254	82
» I_3	284	112
» $I_4 = 0$ ...	370	308

Weniger deutlich zeigt sich die Abhängigkeit der Adventivwurzelbildung von der chemischen Lichtintensität, wenn man die Anzahl der in den einzelnen Fällen zur Ausbildung gekommenen Internodien in Vergleich setzt.

Es betrug die Zahl der Internodien, welche Adventivwurzeln bildeten, von unten nach oben gezählt, bei:

I_1 10
I_2 14
I_3 12
$I_4 = 0$ 11

Setzt man aber die Zahl der wurzelbildenden Internodien mit der Zahl der überhaupt zur Anlage gekommenen Internodien ins Verhältniss, so zeigt sich wieder, dass mit der Abnahme der chemischen Lichtintensität die Advertivwurzelentwicklung zunimmt.

Es geht dies aus folgenden Zahlen hervor:

	Zahl der gebildeten Internodien	Zahl der wurzelbildenden Internodien	Procentisches Verhältniss
Bei I_1	19	10	52
» I_2	23	14	61
» I_3	19	12	63
» $I_4 = 0$ ..	14	11	78 [1]

[1] Es scheint, als würde die Lichtintensität auch einen Einfluss auf die Entwicklung der Stengelbehaarung nehmen. Ich fand, dass an den Stengeln der Pflanzen obiger Versuchsreihe, in welcher ausser der Lichtintensität alle anderen Factoren der Vegetation vergleichsweise constant waren, die Dunkelsprosse reichlicher mit Haaren besetzt waren als die der Lichtsprosse, und dass im Allgemeinen mit der Abnahme der Lichtintensität die Haare an Länge

Ich theile schliesslich noch eine mit treibenden Kartoffeln ausgeführte Versuchsreihe mit, bei welcher sämmtliche den verschiedenen Lichtintensitäten ausgesetzten Pflanzen fortwährend im dunstgesättigten Raume sich befanden.

Die Knollen wurden am 24. März ausgesetzt. Der Versuch schloss am 22. April, in welcher Zeit die Knollen noch reichlich mit Reservesubstanz versehen waren. Die auf die verschiedenen Pflanzen einwirkenden Temperaturen waren zu gleichen Zeiten an allen Orten der Aufstellung immer dieselben und schwankten gewöhnlich bloss zwischen 16 und 24° C.

Die Mittel der täglichen Maximalintensität waren an den vier Orten der Aufstellung die folgenden:

$$I_1 = 0\cdot2010$$
$$I_2 = 0\cdot0240$$
$$I_3 = 0\cdot0025$$
$$I_4 = 0$$

Die Längenunterschiede der Stengel und Internodien waren bei diesen im absolut feuchtem Raume ausgeführten Versuchen auffallend geringere als in den früheren ganz oder zeitweilig bei relativ geringer Luftfeuchtigkeit angestellten. Hingegen gaben sich viel grössere Unterschiede in betreff der Blattgrösse zu erkennen, wie die nachstehenden Zahlen lehren.

Mittlere maximale Länge der Internodien:

Bei I_1 . . . . 30 *mm*
» I_2 35
» I_3 45
» $I_4 = 0$ 48

Mittlere maximale Grösse der Blätter:

Bei I_1	Länge 121 *mm*,	Breite 68 *mm*
» I_2	» 65	» 41
» I_3	» 30	» 16
» $I_4 = 0$ . . .	» 26	» 14

zunahmen, dass ferner die Haare der Dunkelsprosse quer abstanden, während die der Lichtsprosse aufgerichtet waren. Ich habe diese Verhältnisse nicht weiter verfolgt und auch die Versuche nach dieser Richtung hin nicht wiederholt.

Die Zunahme der Blattgrösse mit der Steigerung der chemischen Lichtintensität geht aus dieser Versuchsreihe mit grosser Klarheit hervor.

Um zu sehen, ob mit weiterer Steigerung der Lichtintensität nicht von einer bestimmten Grösse an eine Abnahme der Blattgrösse sich einstellt, wie bei anderen oben vorgeführten Pflanzen, wurde eine Cultur im feuchten Raume bei einer mittleren täglichen Maximalintensität von 0·451 durchgeführt. In der That stellte sich ein auffallendes Kleinbleiben der Blätter ein. Doch möchte ich bei dem Umstande, als die unter Glassturz starker Sonnenwirkung ausgesetzten Pflanzen eine sie schädigende Temperaturerhöhung erfahren haben mochten, diesem Versuche keine grosse Beweiskraft zuschreiben. Indess hatten diese Pflanzen nichts Krankhaftes an sich, sie waren lebhaft grün gefärbt und unterschieden sich nur durch gedrungeneren Bau und Kleinblättrigkeit von normalen Pflanzen. Als nach mehreren sonnigen Tagen trübes Wetter eintrat, entwickelten sich die Blätter so stark, dass sie an Grösse die Blätter aller anderen Versuchspflanzen überholten.

Die Cultur der Kartoffel im absolut feuchten Raume hat für diese Pflanze manchen Übelstand im Gefolge. Es stellen sich häufig an Blättern und Stengeln starke Wasserausscheidung ein, und nicht selten gehen die Spitzen der Triebe zu Grunde. Namentlich die im feuchten Raume bei Ausschluss des Lichtes cultivirten Pflanzen tragen oft einen abnormen Charakter an sich: die starke Streckung der Internodien unterbleibt, die Stengel verdicken sich sehr stark und es werden mehr Stengelglieder als sonst im Finstern erzeugt.

Die oben mitgetheilten Zahlen wurden an Pflanzen gewonnen, die sich, wenigstens anscheinend, bis zum Schlusse des Versuches gesund verhielten.

Aus den mit Kartoffeltrieben unternommenen Versuchen geht vor Allem hervor:

1. dass mit abnehmender Lichtintensität die Stengelglieder an Länge constant zunehmen,

2. dass diese Längenzunahme bei geringer Luftfeuchtigkeit bedeutender ist als bei fortwährender Cultur im dunstgesättigten Raume,

3. dass bei geringer Luftfeuchtigkeit sehr geringe Lichtintensitäten noch eine sehr starke Retardation der Internodien hervorrufen,

4. dass bei hoher Luftfeuchtigkeit mit zunehmender Lichtintensität — wie es scheint, aber nur bis zu einer bestimmten Grenze — die Blattgrösse zunimmt, endlich

5. dass selbst sehr geringe Lichtintensitäten eine deutliche Förderung des Blattwachsthums herbeiführen.

Sehr geringen chemischen Lichtintensitäten gegenüber reagiren die Stengel weit auffallender als die Blätter.[1]

Da die in den vorstehend mitgetheilten Versuchen gemessenen Lichtstärken bloss chemische Lichtintensitäten angeben, so kann die Frage entstehen, ob nicht die sogenannten assimilatorischen Strahlen von massgebendem Einfluss auf den Erfolg der Versuche gewesen sein mochten, mit andern Worten, ob nicht eine im Lichte vor sich gegangene Neubildung organischer Substanz das ausschlaggebende Moment gebildet habe.

Bei $I_4 = 0$ hat selbstverständlich gar keine Neubildung organischer Substanz stattgefunden. Indess auch bei I_3 nicht, denn das Licht reichte hier nicht einmal zur normalen Chlorophyllbildung aus, die Triebe waren durchwegs gelblichgrün. Aber auch bei I_2 und I_1 war die Neubildung der organischen Stoffe nur eine minimale, da eine Vermehrung der Trockensubstanz nicht constatirt werden konnte, ferner die jungen bewurzelten Triebe, von den Knollen losgelöst, sich im Vergleich zu den mit den Knollen in Verbindung gebliebenen während der Versuchszeit nur sehr kümmerlich entwickelten.

[1] Dasselbe Resultat bezüglich der Reaction der Stengel und Blätter gegen sehr schwaches Licht ergaben auch die mit *Sempervivum* angestellten Versuche (siehe oben S. 328).

Es kann also wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass die vorgeführten Formbildungsprocesse, der Hauptsache nach, auf Kosten der in den Knollen angesammelten Reservestoffe vor sich gingen, und durch das chemische Licht ausschliesslich oder doch vorwiegend beherrscht wurden.

Versuche mit Phaseolus multiflorus.

Junge, eben aus dem Boden hervorgebrochene Keimlinge dieser Pflanze wurden im Experimentirraume an vier verschiedenen Orten (I—IV) aufgestellt, wo sie an drei Stellen (I—III) verschiedenen Lichtintensitäten ausgesetzt waren, an der vierten (IV) im Finstern sich befanden.

Der Versuch begann am 5. und dauerte bis 15. März. Die Temperatur schwankte innerhalb dieser Zeit an den vier Orten der Aufstellung zwischen 15·2 und 27·8°, hielt sich aber gewöhnlich zwischen 19 und 24°. Die Differenzen der Temperatur waren an allen diesen Orten in gleichen Zeiten nur ganz unerhebliche.

Grösser stellten sich in dieser Versuchsreihe die Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit. Die relative Feuchtigkeit schwankte in I—III zwischen 52 und 73%, in IV ging sie zeitweilig bis auf 84%, so dass die relativen Feuchtigkeiten an den einzelnen Orten der Aufstellung auch für gleiche Zeiten nicht gleich waren. Desshalb sind die im Dunkeln zu Stande gekommenen Werthe der Internodienlänge und der Blattgrösse zu klein.

Die täglichen Maximalwerthe der Intensität I_1, I_2, I_3 I_4 waren an den Orten I, II, III, IV die folgenden:

$$I_1 = 0\cdot0790$$
$$I_2 = 0\cdot0080$$
$$I_3 = 0\cdot0009$$
$$I_4 = 0$$

Am Ende des Versuches (15. März) waren die Cotyledonen noch reichlich mit Reservestoffen versehen und die zu messenden Theile (Epicotyle und Primordialblätter) nahezu ausgewachsen. Auf die anderen schon angelegten und im Wachs-

thum begriffenen Stengelglieder und Blätter wurde in diesem Versuche keine Rücksicht genommen.

Länge der Epicotyle.

Bei I_1	120 *mm*
» I_2	187
» I_3	200
» $I_4 = 0$ ...	255

Länge der Blattstiele der Primordialblätter:

Bei I_1	77 *mm*
» I_2	70
» I_3	68
» $I_4 = 0$	60

Grösse der Blattflächen der Primordialblätter:

	Länge (der Lamina)	Breite (der Lamina)	Fläche der Lamina frisch
Bei I_1	77 *mm*	70 *mm*	4189 mm^2
» I_2	43	38	1298
» I_3	30	26	648
» $I_4 = 0$ ...	27	23	563

Auch aus dieser Versuchsreihe geht hervor, dass mit sinkender Lichtintensität die Stengellänge zu- und die Blattgrösse abnimmt, und dass niedere Lichtintensitäten weit auffälliger auf die Stengel als auf die Blätter einwirken.

Da nicht nur die chemische Intensität, sondern auch die Luftfeuchtigkeit begünstigend auf die Grösse der Blattflächen einwirkt, so ist es klar, dass sich bei zahlreichen fortgesetzten Versuchen Primodialblätter von gleicher Grösse finden werden, welche bei verschiedenen chemischen Lichtintensitäten herangewachsen sind.

Bei einer durchschnittlichen maximalen Lichtintensität von 0·048 und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 75% erreichten die Primodialblätter von *Phaseolus multiflorus* annähernd dieselbe Grösse als bei einer durchschnitt-

lichen maximalen Lichtstärke von 0·001 und 100% Luftfeuchtigkeit, nämlich circa 800 *mm*².

Versuche mit Mais.

Vier Topfculturen von Mais wurden, als die Blattspitzen den Boden durchbrochen hatten, bei annähernd gleicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit vier verschiedenen Lichtintensitäten ausgesetzt.

Temperatur-, Feuchtigkeits- und Beleuchtungsverhältnisse waren dieselben wie in der ersten mit Kartoffeltrieben durchgeführten Versuchsreihe (siehe oben S. 331). Der Versuch begann am 3. März und wurde am 22. März abgebrochen. Reservestoffe waren im Endosperm noch reichlich vorhanden.

Das unterste unterhalb des Scheidenblattes gelegene Stengelglied entwickelte sich in allen Töpfen zum Theil unterirdisch, so dass sich eine Beziehung zwischen der Länge desselben und der Lichtintensität nicht feststellen liess. Allein auf Keimnetzen in Wassercultur zur Entwicklung gebrachte Exemplare, von denen einzelne der vollen Lichtwirkung (I_1) ausgesetzt waren, die anderen im Finstern sich entwickelten, zeigten deutlich, dass das Licht das Längenwachsthum dieser Internodien hemmt. Im Durchschnitte hatten die untersten Internodien bei I_1 eine Länge von 15 *mm*, im Finstern eine Länge von 32 *mm* angenommen.

Die Retardation des Längenwachsthums der nächstfolgenden Stengelglieder ergab bei I_2 und I_3 nur geringe Differenzen, da dieselben von Blättern verhüllt waren.

Länge des zweiten Stengelgliedes:

Bei I_1 . . . . 4·5 *mm*
» I_2 . . . . 5·2
» I_3 . . . . 5·4
» I_4 (dunkel) . . 6·0

Die Länge des dritten Stengelgliedes war bei allen Individuen sämmtlicher Culturen am Schlusse des Versuches eine unbeträchtliche (von circa 1 *mm*); die jüngsten Internodien liessen sich makroskopisch kaum mehr unterscheiden.

Das Scheidenblatt hatte im Durchschnitt folgende Längen erreicht:

Bei I_1	48 *mm*
» I_2	51
» I_3	56
» $I_4 = 0$ . . .	62

Unterstes Laubblatt (Durchschnittswerthe):

	Länge der Scheide	Spreite Länge	Spreite Breite
Bei I_1	70 *mm*	77 *mm*	18 *mm*
» I_2	99	80	16
» I_3	101	82	15
» $I_4 = 0$ . . .	118	91	13

Nächstfolgendes Laubblatt (Durchschnittswerthe):

	Länge der Scheide	Spreite Länge	Spreite Breite
Bei I_1	87 *mm*	155 *mm*	14 *mm*
» I_2	93	211	16
» I_3	96	214	15
» $I_4 = 0$ . . .	115	238	17

Aus diesen Beobachtungen ist zunächst ersichtlich, dass mit abnehmender Intensität die Länge der Blattscheide und Blattspreite zunimmt.

Das Verhältniss der Breite der Lamina zur Intensität geht aus den bisher angestellten Versuchen nicht mit gleicher Klarheit hervor. Wohl nahm bei dem untersten Laubblatte die Breite der Lamina mit der Intensität des Lichtes zu; allein bei dem nächst höheren Blatte war eine solche Regelmässigkeit nicht zu beobachten.

Zu dieser Versuchsreihe ist noch Folgendes zu bemerken. Bei I_2, I_3 und I_4 wurden drei Laubblätter, bei I_1 hingegen vier Laubblätter ausgebildet. Die bei I_1 und I_2 gebildeten Blätter waren intensiv grün, die bei I_3 nur gelbgrünlich gefärbt. Selbst-

verständlich waren die bei $I_4 = 0$ zur Entwicklung gelangten Blätter etiolirt, also chlorophylllos.

Bei einer nächsten mit Mais unternommenen Versuchsreihe, welche später als die mitgetheilten, nämlich zwischen dem 8. März und 6. April ablief, waren die Lichtintensitäten selbstverständlich grösser, nämlich:

$$I_1 = 0 \cdot 115$$
$$I_2 = 0 \cdot 012$$
$$I_3 = 0 \cdot 001$$
$$I_4 = 0$$

Doch ergaben sich im Ganzen dieselben Resultate, wie in der früheren Reihe. Nur steigerte sich die Blatt-, also auch die Internodienzahl.

Im Durchschnitte wurden:

bei I_1 . . . . 6·1 Internodien gebildet
» I_2 . . . . 5·2 » »
» I_3 . . . . 5·0 » »
» I_4 . . . . . . 5·0 » »

Da bei den mit Mais durchgeführten Versuche höhere, als die angegebenen Intensitäten nicht einwirken gelassen wurden, so bleibt einstweilen noch unentschieden, ob bei dieser Pflanze mit steigender Lichtintensität zuerst die Internodienzahl sich steigert und dann wieder abnimmt, also dieselben Verhältnisse eintreten wie bei der Kartoffel, was sehr wahrscheinlich ist, oder ob bei Mais mit der Lichtsteigerung die Internodienzahl fortwährend zunimmt und von einem Maximum an stationär bleibt. Wenn das erstere der Fall ist, so läge die Lichtstärke, bei welcher die grössere Internodienzahl sich einstellt, höher als bei der Kartoffel. Auch wurde nicht ermittelt, wie sich das Grössenverhältniss des Blattes bei hohen Lichtintensitäten gestaltet.

Versuche mit Keimlingen von Fichte und Föhre.

Die Versuchspflänzchen wurden aus Samen in der Zeit vom 24. März bis 21. April unter gleichen für das Wachsthum günstigen Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnissen gezogen

und waren während der Versuchszeit folgenden vier mittleren maximalen Lichtintensitäten ausgesetzt:

$$I_1 = 0 \cdot 1370$$
$$I_2 = 0 \cdot 0140$$
$$I_3 = 0 \cdot 0025$$
$$I_4 = 0$$

Die Hypocotyle der Fichte zeigten am Schlusse des Versuches im Mittel folgende Dimensionen:

Bei I_1 . . . . 34 *mm*
» I_2 50
» I_3 58
» $I_4 = 0$ . . . 70

Die Cotylen hatten hingegen folgende durchschnittliche Länge erreicht:

Bei I_1 . . . . 16 *mm*
» I_2 15
» I_3 17
» $I_4 = 0$ . . 18

Die Hypocotyle der Fichte zeigen also das gleiche Verhalten wie gewöhnliche Stengel. Hingegen hatten die Cotylen bei verschiedenen Intensitäten und im Dunkeln beiläufig die gleichen Dimensionen erreicht. Will man auf die factisch beobachteten, nur geringfügigen Unterschiede ein Gewicht legen, so wäre aus dem Versuche abzuleiten, dass die im Dunkeln erwachsenen Cotylen grösser wurden als die bei starkem Lichte erwachsenen. Hier hätten wir den merkwürdigen Fall vor uns, dass die Blätter sich wie normale Stengel im Licht und Dunkel verhalten.

Die mit Föhrenkeimlingen angestellten Versuche ergaben rücksichtlich der Hypocotyle dasselbe Resultat wie die Fichtenkeimlinge; hingegen zeigten die Cotyledonen das Verhalten normaler Blätter, wie folgende Zahlen lehren.

Es wurde Folgendes gefunden:

	Durchschnittliche Länge	
	der Hypocotyle	der Cotyledonen
Bei I_1	40 *mm*	48 *mm*
» I_2	56	35
» I_3	60	28
» I_4	69	24

Man sieht also, dass der Keimstengel der Föhre mit sinkender Lichtintensität an Länge zunimmt, hingegen die Cotyledonen an Länge, und zwar sehr beträchtlich, abnehmen.

Mit diesem auffällig verschiedenen Verhalten der Cotyledonen von Fichten- und Föhrenkeimlingen im Zusammenhange steht ihr verschiedenes heliotropisches Verhalten: die Cotyledonen der Fichte sind nämlich sehr stark positiv heliotropisch, die der Föhre entweder neutral, oder im starken Lichte schwach negativ heliotropisch.

Dieses ungleiche heliotropische Verhalten der Cotyledonen von Fichte und Föhre steht im ursächlichen Zusammenhange mit dem ungleichen Verhalten dieser Organe während des Wachsthums im Licht und Dunkel.

Nach meiner Auffassung bestehen Stengel und Blätter sowohl aus positiv als aus negativ heliotropischen Elementen, d. i. aus Zellen, welche durch das Licht im Wachsthum gehemmt und aus Zellen, welche durch das Licht im Wachsthum gefördert werden. In der Regel prävaliren die ersteren in den Stengeln, die letzteren in den Blättern, so dass gewöhnlich die Stengel bei Anwendung von Licht im Wachsthum bevorzugt sind, die Blätter im Lichte, dass die ersteren positiv heliotropisch sind, und die letzteren je nach dem Verhalten der positiv heliotropischen zu den negativ heliotropischen Elementen, aber auch je nach der Intensität des herrschenden Lichtes ein verschiedenes Verhalten darbieten, gewöhnlich durch das Zusammenwirken beider Elemente, unter Mitwirkung noch anderer Kräfte die fixe Lichtlage annehmen, übrigens auch positiv oder negativ heliotropisch werden können.

Ich kann hier nicht näher in diese Verhältnisse eingehen sondern verweise bezüglich aller dieser Fragen auf meine Untersuchungen über den Heliotropismus [1] und bemerke nur, dass nach meiner Auffassung in den Cotylen der Fichte die positiv heliotropischen, in denen der Föhre die negativ heliotropischen Elemente prävaliren.

IV. Photometrische Messungen behufs Ermittlung der unteren Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit von Pflanzenorganen.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, reagiren die Organe (Stengel) mancher sehr lichtempfindlicher Pflanzen noch erkennbar auf ein Licht, dessen Stärke bloss 0·0003 Meterkerzen beträgt. So z. B. die Keimstengel von *Amarantus melancholicus*.[2]

Um die ausserordentliche Lichtempfindlichkeit, welche heliotropische Organe erreichen können, anschaulich vorzuführen, habe ich schon vor längerer Zeit folgenden photometrischen Versuch gemacht.[3]

Es wurde mitten zwischen zwei Flammen, welche nach Ausweis des Bunsen'schen Photometers vollkommen gleiche Lichtstärke besassen, ein etiolirter Keimling der Wicke *(Vicia sativa)* gebracht, und dessen Verhalten beobachtet. Es zeigte sich regelmässig, wie oft auch der Keimling gewechselt wurde, dass derselbe sich gegen eine der Flammen neigte, diese also die grössere Lichtstärke besass. Dieser Versuch wurde wie alle meine photometrischen auf Heliotropismus bezugnehmenden Versuche mit Gasflammen ausgeführt. Mit Zuhilfenahme einer solchen Flamme wurde die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit etiolirter Wickenkeimlinge gemessen und gefunden, dass sich allerdings die Individualität einigermassen geltend macht, dass aber bei den empfindlichsten Individuen diese Grenze etwa bei 0·0013 Meterkerzen erreicht ist.[4]

---

[1] L. c. II, S. 9—22.

[2] Figdor, l. c. S. 50.

[3] Die heliotropischen Erscheinungen I. Th. S. 43 und 44.

[4] Vergl. Wiesner, l. c. und Figdor l. c. S. 50.

Nun muss aber beachtet werden, dass die meisten Pflanzen heliotropisch nur auf die stark brechbaren Strahlen reagiren, und dass bei geringer Lichtstärke alle Pflanzen ohne Ausnahme nur durch die stark brechbaren Strahlen beeinflusst werden. Weiter ist aber noch zu beachten, dass das Gaslicht ausserordentlich arm an stark brechbaren (chemischen) Strahlen ist. Es lässt sich also ein sehr kleiner Intensitätswerth als untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit schon von vornherein vermuthen.

Um diese factische Empfindlichkeitsgrenze wenigstens approximativ zu ermitteln, wendete ich die oben beschriebene Methode zur Bestimmung der chemischen Lichtintensität an. Da aber in einer Entfernung von der Gasflamme, in welcher die oben angegebene Lichtstärke von 0·0003, beziehungsweise von 0·0013 Meterkerzen herrschte, nach 16—24 Stunden sich noch keine nachweisliche Schwärzung des Normalpapieres bemerkbar machte, über diese Zeit hinaus aber diese Papiere zu verlässlichen Intensitätsprüfungen untauglich sind, so musste eine indirecte Bestimmung vorgenommen werden.

Es erschien naheliegend, eine Gasflamme von starker Leuchtkraft auf ihre chemische Intensität zu prüfen, und aus dem Verhältniss der Lichtstärke einer solchen Flamme zu jener von 0·0003, beziehungsweise aus analog erhaltenen Leuchtkraftwerthen die chemische Intensität dieser kleinen Flamme zu berechnen.

Allein, wie sich bald herausstellte, ist ein solcher Vergleich nicht zulässig, da selbst bei Anwendung eines und desselben Leuchtgases das Verhältniss der chemischen Intensität zur Lichtstärke überhaupt von der Natur der jeweilig erzielten Flamme abhängt. Im Allgemeinen ist die chemische Intensität der Leuchtgasflamme eine geringe, aber man erhält doch erhebliche Unterschiede, je nach dem man einen Bunsenbrenner oder eine Argand'sche Lampe oder einen Schmetterlingsbrenner in Anwendung bringt, also beispielsweise bei gleicher Lichtstärke relativ grössere Werthe für die chemische Intensität bei Benützung eines Bunsen'schen Brenners, als unter Anwendung einer Argand'schen Gaslampe.

Es war nothwendig dieselbe Flamme zu verwenden, welche auch bei den heliotropischen Versuchen verwendet wurde. Es war dies eine in bestimmter Weise regulirte Flamme eines Mikrobrenners, welche Tag und Nacht mit gleicher Leuchtkraft brannte. Dieser Flamme wurden die Normalpapiere so weit genähert, dass einerseits die chemische Wirkung auf die Silberpapiere noch innerhalb eines zulässigen Zeitintervalls, anderseits aber keine störend wirkende Temperaturerhöhung sich einstellte.

Diese Bedingungen waren in einer Entfernung von = 10 *cm* von der Flamme erfüllt, woselbst die Normalschwärzung nach 1^h 56^m (also nach circa 7000 Secunden) eintrat, und die in Folge der Flammennähe sich einstellende Temperaturerhöhung nur wenige Centigrade betrug, in allen Versuchen unter 30° C. lag, während nach Bunsen und Roscoe selbst eine Steigerung der Temperatur bis 50° noch zulässig gewesen wäre.

In der angegebenen Entfernung betrug die Lichtstärke 1·598 Meterkerzen und die chemische Intensität 0·000143.

Aus diesen Werthen berechnet sich unter Zugrundelegung des Satzes, dass die Intensität der Strahlung, also auch die des chemischen Lichtes im umgekehrten quadratischen Verhältniss mit der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt, und dass die chemische Wirkung einer bestimmten Lichtquelle ihrer Leuchtkraft proportional ist, die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit

der Keimstengel von *Amarantus melancholicus* auf 0·000000026
und » » » *Vicia sativa* » 0·000000116

Dabei wird angenommen, dass in einer Strecke der Atmosphäre von 3·5, beziehungsweise 7 *m* keine Absorption der chemischen Strahlen stattgefunden hat. Würde eine solche stattgefunden haben, so wären die obigen Werthe noch zu gross.

Auf Genauigkeit machen die angeführten Werthe keinen Anspruch; es sollte durch diese, wie mir scheint, erlaubte Berechnung nur die ausserordentliche Empfindlichkeit der Pflanze, speciell der positiv heliotropischen Organe derselben, dem Lichte gegenüber, anschaulich gemacht werden.

Zusammenstellung einiger Resultate.

1. Die Bunsen-Roscoe'sche Methode, mittelst photographischen Normalpapiers die sogenannte chemische Lichtintensität des Tageslichtes zu bestimmen, wurde als anwendbar befunden, um den Gestaltungsprocess der Pflanzen in seiner Abhängigkeit von der Intensität des Lichtes messend zu verfolgen.

2. Mit Zunahme der chemischen Lichtintensität nimmt das Wachsthum der untersuchten Stengel ab, um im Finstern ein Maximum zu erreichen. (Aus Gründen, die im Texte erörtert sind, wurden bei den Versuchen gewöhnlich nur mit mittleren und geringen Lichtintensitäten operirt, so dass die Einflussnahme hoher Lichtintensitäten auf den Wachsthumsprocess der Stengel mehrfach unberücksichtigt geblieben ist.)

3. Nach den bisherigen Versuchen ist anzunehmen, dass das Wachsthum der meisten Blätter mit zunehmender chemischer Lichtintensität nur bis zu einer bestimmten Grenze zunimmt, um mit weiter steigender Lichtintensität wieder abzunehmen.

4. Die Blätter mancher Pflanzen verhalten sich den verschiedenen Lichtintensitäten gegenüber so wie gewöhnliche Stengel, soferne sie mit abnehmender Lichtintensität an Grösse zunehmen. Die Cotylen der Fichte gehören in diese Kategorie, während die der Föhre sich wie gewöhnliche Blätter verhalten. Die Cotylen der Fichte stimmen mit Stengeln auch insoferne überein, als sie stark positiv heliotropisch sind, während die der Föhre sich entweder neutral oder negativ heliotropisch erweisen.

5. In der Krone belaubter Bäume nimmt die chemische Lichtintensität des Lichtes von aussen nach innen sehr rasch ab. Da chemisch wirksames Licht von sehr geringer Intensität zur normalen Entfaltung der Knospen nicht ausreicht, so wird es nunmehr verständlich, dass die wintergrünen Gewächse ihre Knospen in die Peripherie der Krone vorschieben müssen, während die sommergrünen Bäume auch in der Tiefe der Krone Knospen zur Ausbildung bringen können, da der entlaubte oder im Beginne der Belaubung befindliche Baum

genügend starkes chemisch wirkendes Licht zu den sich entfaltenden Knospen zutreten lässt.

6. Die lichtbedürftige Kraut- und Strauchvegetation des Waldes muss aus gleichem Grunde vor der Belaubung der Bäume zur Laubentwicklung gelangen, und nur solches Unterholz oder solche Kräuter, deren Belaubung sich auch in sehr schwachem Lichte vollziehen kann, verzögern über die Zeit der Belaubung der Bäume hinaus ihre Blattentfaltung.

7. Zum Hervorbrechen der Würzelchen von *Viscum album* ist ein stärkeres Licht erforderlich als zu deren Weiterentwicklung. Nach den bisherigen Beobachtungen ist zum mindesten eine mittlere tägliche maximale Intensität von 0·015 zum Hervorbrechen der Würzelchen erforderlich, während die Weiterentwicklung noch bei 0·0013 stattfinden kann.

8. Der normale Habitus des auf sonnige Standorte angewiesenen *Sempervivum tectorum* geht schon bei einer relativ hohen chemischen Lichtintensität (mittleres Tagesmaximum gleich 0·04) verloren.

9. Die Blattgrösse einer Pflanze ist unter sonst gleichen Verhältnissen einerseits von dem Grade der Luftfeuchtigkeit, anderseits von der chemischen Lichtintensität abhängig. So wurde beispielsweise gefunden, dass die Primordialblätter von *Phaseolus multiflorus* bei 75% relativer Luftfeuchtigkeit und einem täglichen Durchschnittsmaximum der Lichtintensität gleich 0·048 dieselbe Grösse erreichten als bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit und einer correspondirenden Intensität gleich 0·001.

10. Die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit ist bei sehr reactionsfähigen Pflanzenorganen (etiolirte Keimstengel der Wicke) durch eine Lichtintensität gegeben, welche Bruchtheile von Millionsteln der Bunsen-Roscoe'schen Einheit beträgt. Dieselbe entspricht beispielsweise bei der Wicke etwa dem zehnmillionsten Theile der genannten Einheit.
